

地質調査

編集／一般社団法人全国地質調査業協会連合会

2013

第4号

(通巻138号)

Japan Geotechnical Consultants Association

巻頭言

≫ 液状化対策技術の歴史

東京大学 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 東畑 郁生

小特集 液状化

≫ 東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)による液状化と過去の液状化履歴

……………若松 加寿江・先名 重樹

≫ ピエゾドライブコーンによる液状化判定技術(動的サウンディング)

……………澤田 俊一

≫ SDS(スクリュードライバーサウンディング)試験による液状化判定技術

……………未政 直晃

≫ 電気式コーン貫入試験による液状化判定技術

……………吉村 貢

≫ 拘束効果を考慮した液状化対策技術

……………三木 博史・大河内 保彦・
牧野 昌己・緒方 健治・
佐藤 謙司・浅沼 丈夫・
小林 浩二・大林 淳

≫ 戸建て住宅に対する液状化技術

……………藤井 衛

教養読本

≫ 宮澤賢治と地質調査

……………加藤 碩一

やさしい知識

≫ 繰返し非排水三軸試験について

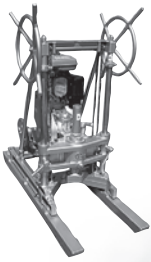
……………坪田 邦治

基礎技術講座

≫ 地表地質踏査の原点 ～過去から現在へ～

……………上田 正人

YHP-1



(ニッケル鉱調査 フィリピン)

YBM-05DA-2



ECO-3V
(ニッケル鉱調査
インドネシア)



(ニッケル鉱山調査 ニューカレドニア)



ワイヤーライン工法用削孔機
TYW-50

資源探査、環境調査、土木建設の基礎調査 世界で活躍するYBMのボーリングマシンとツールズ

大口径ボーリングマシンから、超軽量ボーリングマシン
地熱開発用コンパクトリグ、地中熱交換井削孔機まで、
幅広いニーズを満たす製品を取り揃えております。



地熱開発用コンパクトリグ
HC-2000R

YBMの多目的パイプロドリル
地中熱交換井掘削機シリーズ

深度30m熱交換井方式
により掘削コスト低減



冷暖房システム 室内用ユニット

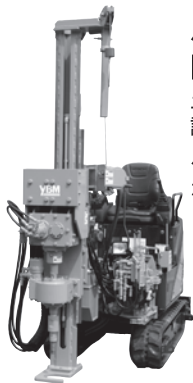
パイプロドリル
ECO-13GT



パイプロドリル
ECO-7V-H



先進の地盤調査機で工期短縮・液状化判定にも対応。



パイプロドリル
ECO-1VⅢ
土壌・地下水汚染
調査など
パイプロ機能を活
かして回転せずに
土中に貫入可能。



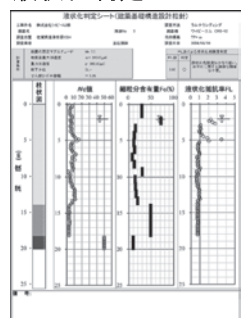
オートマッチック
ラムサウンディング
CRS-12
地盤調査、液状化判定 など

全自動
ラムサウン
ディングで
より正確に
支持地盤の
調査が
できます。



土壌資料採取器
土壌すくい

液状化判定シート



YBM 株式会社 ワイビーエム

本 社 / 〒847-0031 佐賀県唐津市原1534 TEL (0955) 77-1121

<http://www.ybm.jp/>

東京支社 〒104-0032 東京都中央区八丁堀3丁目22-11八重洲第三長岡ビル2F TEL (03) 6280-4789
東京支店 〒342-0005 埼玉県吉川市川藤3062 TEL (048) 982-7558
大阪支店 〒578-0964 大阪府東大阪市新庄西5-4 TEL (06) 4309-2921

東北営業所 〒981-3133 宮城県仙台市泉区泉中央3丁目27-3日泉ビル202号室 TEL (022) 343-1210
名古屋営業所 〒468-0043 愛知県名古屋市中区天白区菅田1丁目1208 TEL (052) 804-4841
広島営業所 〒732-0802 広島県広島市南区大州1丁目1-25第一ふじビル1F TEL (082) 285-3824
インドネシア事務所 Room No. 343 3F. PPHUL, JL. HR. Rasuna Said Kav. C-22 Jakarta Selatan 12940 TEL (+62) 21-52921131

巻頭言	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 液状化対策技術の歴史 <ul style="list-style-type: none"> 東京大学 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 東畑 郁生 …… 1
小特集	<ul style="list-style-type: none"> ■ 液状化 <ul style="list-style-type: none"> ≫ 東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）による液状化と過去の液状化履歴 <ul style="list-style-type: none"> 若松 加寿江・先名 重樹 …… 6 ≫ ピエゾドライブコーンによる液状化判定技術（動的サウンディング） <ul style="list-style-type: none"> 澤田 俊一 ……12 ≫ SDS（スクリュードライバーサウンディング）試験による液状化判定技術 <ul style="list-style-type: none"> 末政 直晃 ……20 ≫ 電気式コーン貫入試験による液状化判定技術 <ul style="list-style-type: none"> 吉村 貢 ……24 ≫ 拘束効果を考慮した液状化対策技術 <ul style="list-style-type: none"> 三木 博史・大河内 保彦・牧野 昌己・緒方 健治 佐藤 謙司・浅沼 丈夫・小林 浩二・大林 淳 ……30 ≫ 戸建て住宅に対する液状化技術 <ul style="list-style-type: none"> 藤井 衛 ……36
教養読本	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 宮澤賢治と地質調査 <ul style="list-style-type: none"> 加藤 碩一 ……42
やさしい知識	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 繰返し非排水三軸試験について <ul style="list-style-type: none"> 坪田 邦治 ……48
基礎技術講座	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 地表地質踏査の原点 ～過去から現在へ～ <ul style="list-style-type: none"> 上田 正人 ……53
各地の博物館巡り	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 沖縄県本部^{もとぶ}町立博物館 <ul style="list-style-type: none"> ～ジオパークの拠点施設を目指して～ 千村 次生 ……59
大地の恵み	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 群馬県吾妻地域の温泉【ONSEN】 <ul style="list-style-type: none"> 齋藤 勝 ……62
各地に残すべき地形・地質	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 久井・矢野の岩海と雄橋（広島県） <ul style="list-style-type: none"> 佐藤 真悟 ……65
全地連「技術フォーラム2013」について ……67	
会告	<ul style="list-style-type: none"> ≫ 地質情報管理士 登録更新について ……71 ≫ 「道路防災点検技術講習会」の開催 ……71 ≫ 地質リスク学会主催「第3回地質リスクマネジメント事例研究発表会」の資料公開について ……71 ≫ 「ボーリングポケットブック（第5版）」の発刊 ……72 ≫ 積算説明会の開催 ……72 ≫ 平成25年度上半期の事業量 503億円 ……73 ≫ 全地連オートリース制度のご案内 ……74

地質調査 '14 第1号 (通巻139号) 内容 (予定) 平成26年4月発行

小特集テーマ

地盤・地質情報の三次元化

なぜ今、三次元か？

CIMへの取り組み

地すべりへの適用事例

地下空洞への適用事例

地震動作成のための三次元地質モデル

地質境界面を基礎とする国内外の地質モデリングシステム

やさしい知識

シームレス地質図三次元化の活用

液状化対策技術の歴史

とうはた いくお*
東畑 郁生*

Key Word 液状化, 技術史, 防災, ハザードマップ

1. はじめに

2011年の大震災でまた地盤の液状化が各地で大々的に発生した。思い起こせば1964年の新潟地震以来あちこちで同じ現象が起こっており、またか、50年もかかってまだ問題が解決できないのか、関係者の怠慢ではないか、世の中にはそんな感想があるかもしれない。それではどんな問題は解決できたのか、これから何をすべきなのか、ここではそんな視点から過去50年の歴史を振り返ってみたい。

2. 黎明期

1964年6月の新潟地震が、災害としての液状化を世の中に認識させるきっかけであった。同じ年の3月にアラスカのアンカレッジでも液状化災害が起きたことになっているが、見た目だけで言えばアラスカの災害は斜面崩壊という形をとっており、砂が噴いたり建物が沈むという典型的な被害は、新潟が最初に注目を集めたのである。ところで災害はさておき現象としての液状化は、地下水位の高いゆる詰め砂地盤で大昔から起きていた。たとえば中生代の地質の中にも液状化の痕跡を見ることができる(Loope 他, 2013)。現象が災害に変わった原因は、20世紀の都市の膨張である。もともと液状化しやすい地域は田んぼや湿地であり、人の住むところではなかった。そこを埋め立てて町ができたために、被害が生じるようになったのである。以前の土質力学の常識では、軟弱地盤として問題なのは圧密と沈下の起こる粘土地盤であ

り、砂地盤にはそんな問題が無いので基礎として好適な地盤と思われていた。特に大きな基礎構造を設けなくても支持力は十分であり、砂上の楼閣という言葉は死語となっていた。しかしそれが間違いであることが如実に示されて、以後の地震では液状化災害が繰り返し発生することになった。そして町を造る前に危険な場所を避けたり地盤を改良しておけばよかったのに、という反省は、今でもあちこちで聞くことができる。

災害は防がなくてはならないので、1960年代の人たちは液状化という新しい問題に真剣に取り組んだ。当時の技術課題としては、液状化の発生メカニズム解明、地盤調査に基づく危険度評価がある。模型地盤の振動実験も始まったほか、新潟地震の被害地の地盤調査に基づいてN値の大小で危険を判定する方法が提案され、広く使われるようになった。しかし安全率という考え方が導入されるのは、もう少し後になる。液状化した地盤を調査して危険度判定法が作られたというのは当たり前前に聞こえるが、実はこのことが重要である。その詳細は後述としたい。

3. 発展期

いろいろな技術が一斉に花を咲かせたのが1970年代からである。砂の非排水繰返しせん断実験の技術が確立し、現場で採取した不攪乱サンプルを使って液状化強度を直接測定できるようになった。これと現場調査結果、主にN値とを関連付けてN値から液状化強度が推定できるようになり、これと地震荷重を比べることによって液状化安全

*東京大学 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授

率（抵抗率とも呼ぶ）が計算できるようになった。数字で危険の大小を表現できるようになったことは、大きな進歩であった。

砂にもさまざまなものがあり、N値だけで液状化強度が推定できるわけではない。そこで実験的研究が広汎に行われた。当時の学会発表では、粒度分布、細粒分含有率、圧密応力、過圧密など多くの要因が液状化強度に及ぼす影響について、研究成果が大量に発表されていた。

これと並行して液状化対策としての地盤改良技術も進歩を遂げ、締め固め、排水促進、固化などの施工機械が登場し、ゆる詰め砂地盤では液状化安全率を1より大きくしてから施設を建設する、という流れが確立された。

このようにして、ゆる詰め砂地盤の液状化対策は、一応の完成を見たのである。それではなぜ今だに液状化災害が跡を絶たないのであろうか？

4. 1980年代から90年代にかけて

1970年代までの液状化対策技術が対象としていたのは、公共工事にせよ民間建設にせよ、「大きくて立派な」構造物であった。当然施工の予算も確保されているので、液状化対策を施すこともできた。しかし1983年の日本海中部地震、1993年の釧路沖地震あたりから、「小さくなく立派でもない」構造物の液状化災害が問題とされるようになった。なお読者におかれては、「立派でもない」という言葉の意味を誤解されないようお願いする。

地盤改良の予算が十分でない構造物をどうすればよいのか、これは2011年の住宅の液状化被害にも通ずる問題点である。また予算はあっても土地の管理権が無ければ勝手に地盤を改良することもできない。これがライフラインの抱える問題である。日本海中部地震では、地域の重要ライフラインの破断が起これ、その原因として、液状化した緩斜面が下向きに移動していることが発見された（濱田他,1986）。地盤の変形が構造物を破壊したのである。これ以後、側方流動・永久変形という用語が表舞台に出るようになった。それにしてもライフラインは長大であり、部分部分に費やせる耐震化費用は限られている。既設のライフラインを一挙に掘り起こして耐震化することもできず、対策には時間が必要である。ライフラインは道路下に埋められているので、ライフライン事業者が勝手に道路の基盤をいじることもできない。このような制約の下で、機会をとらえては管を少しずつ

耐震化する、液状化の発生は許容・甘受するが緊急対応体制を整えておく、などの努力が始まった（Shimizu 他, 2006）。

それにしても日本海中部地震は転機であった。地表面に液状化の痕跡があるかどうか、住宅に被害があるかどうかを調べた結果、浅い所で液状化しない土層が十分厚ければ、深いところに液状化層があっても地表の住宅に悪影響が及ばないことが見出され、まとめたレポートとして浅田（1998）がある。地中で液状化が起きても被害にならなければ許容する、という考え方は耐震性能設計そのものであり、21世紀になってあちこちで実用化されている。

1993年1月の釧路沖地震のときには釧路川と十勝川の堤防で液状化が起これ、堤体が陥没した。従来からの考え方では、堤防の第一の使命は洪水対策であり、大地震と洪水とが同時に発生する確率は無視できるほど低いので、耐震設計は必ずしも要求されていなかった。むしろ迅速な復旧のほう重要であり、その体制も整えられていた。しかし1993年の地震では被害の規模が大きく、真冬の積雪も相まってか、復旧には数カ月を要した。続く1995年の阪神大震災でも淀川の堤防が液状化して大陥没した。背後はゼロメートル地帯であり、そこへの越水を免れたのは幸運であった。考えてみれば、洪水と地震の同時発生確率が低いことは間違いないが、河口に近い河川では満潮が一日に二回あり、これが洪水のようなものであろう。大潮のことをひとまず措けば、満潮という高水位と地震の同時発生確率が低いとは言いきれない。これらの経験から河川堤防でも耐震設計が重要視されるようになったのである。ただし堤防の総延長は膨大であり、到る所で耐震設計・液状化対策を実施するわけではない。背後地の高いところ、既存堤防が十分高いところでは、耐震設計は不要である。

阪神大震災では直下型地震で強烈な加速度が起これることも認識され、そのような加速度を従来の液状化安全率計算式に代入しては、十分「安全」な構造物を設計できないことが明らかになった。同じ事情は他の構造物にも存在したため、直下型地震には安全率計算法を少し変更するとともに、頻繁に起これるタイプの設計地震には従来通り完全に安定を保ちつつ、稀なレベル2地震ではある程度の被害を許容する、という考え方が採用されるようになった。

すると、耐震性能設計という考え方が重要である。膨大な費用を要する液状化抑止の代わりに被

害を許容範囲内に抑制しよう、たとえ液状化が起こっても被害が十分小さければ、事前の対策の代わりに迅速な復旧で対応しよう、ということである。ここで被害とは残留変形のこと、たとえば盛土なら沈下、構造物なら沈下と傾斜を意味する。すると性能設計の実用化のために、残留変形を予測する実用的な技術が必要とされるようになった。なおここで言う予測とは、必ずしも精細な数値解析を意味するものではない。

これらの動きと並行して、それまでは液状化しないとされていたレキ地盤の液状化も、議論に上るようになった(Youd 他, 1985; Kokusho 他, 1995)。それまで長らくレキは液状化しないとされ、実際の事例でもそうであった。レキ地盤の液状化事例が無かったのは、透水係数が大きいからであろう。しかしレキ層の上に粘性土層のフタがある場合は透水性が役に立たないことは、想像されていなかった。また初期の文献にレキの繰り返し非排水三軸実験の例が紹介されており、そこではレキは液状化しにくいとされていたことも影響があったと思われる。しかし後になって考えると、この三軸せん断実験ではいわゆるメンブレン彎入(ペネトレーション)の悪影響が考慮されておらず、液状化強度をかなり過大に評価していたようである。またレキの間に詰まった砂がゆる詰めであれば、液状化が十分起こりうるのである。結局1995年の神戸のポートアイランドで表面が舗装された駐車場のレキ地盤が液状化し、レキ地盤も液状化しうることが明確になった。

5. 21世紀の問題

21世紀まで残った課題を一言で言うと、ライフラインや住宅など廉価だが大量に存在する施設の液状化対策、そして既存構造物の直下の液状化対策である。そして調査・設計の面から言うと、地盤調査法と耐震性能予測法に、大きな課題が残っている。

2000年の鳥取県西部地震では、中海に造成された埋め立て人工島の住宅地で液状化が起こり、多くの家屋が傾斜・沈下した。そしてこの被害は個人の資力では対応しがたいほど甚大であった。この鳥取のケースでは、史上初めて公的な資金から見舞金が支給された。見舞金という形式をとったのは、個人資産の地震被害を公的資金で救済するわけにはいかない、という大原則を崩さなかったからである。この原則は今でも健在であり、2011

年に南関東の埋め立て地で起きた住宅液状化災害を救済するときにも、宅地の液状化が公の道路やライフラインの機能を損なうので、宅地と道路を一体化して改良する、そのために公的な資金を支出する、という考え方が取られている。鳥取と同じ時期に、阪神大震災で液状化被害を受けた尼崎の市内でも、地盤ゼロメートル問題と液状化問題を同時に解決する事業が実施された。ここでは液状化被害家屋を全面的に取り払って地盤をかさ上げできたので、立派な住宅地に生まれ変わった。

公的資金を導入し、個人にも応分の負担を求めながら地域が一体となって液状化災害を防止する、という試みが、各地で進行中である。これが個々の宅地の改良であれば、オーナーが決断すればどのような工法でも実現可能である。しかし地域一体の事業となると、自治体が特定の工法を推薦せざるを得ない。すると実績があつて、かつ既存住宅直下の地盤を改良できる工法、そしてコストも十分低いものでなくては、推薦できなくなる。こうして多くの技術がふるい落とされ、現時点では地下水位低下と格子状地中壁構築が残っている。地下水位低下には地盤沈下を誘発するという懸念があり、格子状地中壁には、壁間隔が住宅の寸法より小さくできない、つまり効果が減る、という制約がある。地下水位が浅すぎると後者の効果は不明でもある。筆者などは両者併用、つまり若干地下水を低下させて地中壁を深いところだけに構築すると良いのではないかと、思っているが、二つの工法を混ぜるのは財政担当官庁には理解しがたいようである。それでは鋼構造とコンクリート構造を混合した鉄筋コンクリートがなぜ認められるのか、というのが、筆者の素朴な疑問である。

地域を一括して地盤改良するためには、住民の合意形成が必須である。個人にも応分の費用負担が必要だが、それができない人、あるいは自費ですでに地盤改良してしまったのでこれ以上の負担はしたくない、という人をどのように説得するか、という問題が残っている。法律的には100%の住民が合意する必要はないのであろうが、一部の宅地だけ地下水位を低下させないわけには行かないし、そこだけ格子状改良をしないと地盤中に格子欠陥が残ってしまう。このような社会的問題を全ての被災地域で解決することは、大変にむずかしいと思う。また、一括して地盤改良するときの想定地震はあくまでレベル1なので、さらに強烈なレベル2地震を心配する人々は、自力で対策をとってもらわなければならない。すると、個人の負担で既存住宅直下の地盤を改良できる技術はあるのだ

ろうか？ 矢板地中壁による囲い込み、注入固化、排水促進などいろいろ提案はあるが、それほど廉価ではない。資産をそこまでつぎ込むのはごめんだ、という人も少なくないと思う。そのような場合には、何もしないという選択肢があってもよいだろう。つまり2011年の傾斜と沈下だけを修正し、作業に使用したジャッキの土台などをそのまま残置しておいて、次の液状化の時には容易に修正できるようにしておく、という考えである。素晴らしい考えとは言えないが、現実的な対応であるとは思っている。

このような体験の結果、宅地の耐震性能を正しく評価して公表すべし、という情勢が発生した。もともと液状化ハザードマップというものがあり、自治体から住民に公開されていた。しかし住民に広く関心を持たれていたとは言え切れず、また液状化の危険を過大に評価しているものも少なくなかった。安全側の配慮という意味では過大評価も悪く無いのだが、実際に住んでいる身になると、危ないと言われてもおおそれと引越すわけにいかない。また不動産価値が低下するのだからもっと正確に評価してくれ、という要望も出てくる。将来の地震の規模が分からないので正確な評価は難しいと思うが、それでも市域全部が液状化すると言われたら誰でも困るであろう。すると、次のような課題が存在するのである。まず地盤調査の精度である。砂なのか粘土なのか分からない調査法では、液状化危険度の判定はできない。また沖積砂層の基底まで到達できるパワーも必要である。そして判定にあたる人材は、地盤品質の計算公式を覚えているだけでなく、地域の地盤の成り立ちについて十分な知識を備えていなければならない。このことは、ボーリングデータにしばしば見られる矛盾に正しく対応するために、必要なことである。判定にあたる人材には、何らかの資格取得を要求すべきである。

ここで少し余談をしたい。いろいろな決まりごとを作文するとき、そんな文章ではどうしたらいいのか皆が迷いますよ、という批判を頂いた。その時はなるほどと思ったが、後になって、ちょっと待てよ、という気が始めた。たとえば体の調子が悪く医師の診察を受けたとする。診察しても何が原因なのか良くわからない。医師は当然、治療に迷うであろう。人間の健康は複雑な仕組みで成り立っているから、医学書をひも解いても、常に正解が書いてあるとは限らない。それを迷って迷って経験を積んでいくうちに、医学部を卒業したての若手が一人前のお医者様に成長していくの

である。そのような世界と比べると、我々工学の世界ではなぜ迷うことがいけないのであろうか？ 迷わない人には思考力、判断力、責任感が育たない。宅地の液状化危険度の判定にも、何度も迷って自分を高めてきた人たちの活躍を期待している。

ここで本題に戻ろう。液状化判定も、表層地質だけで判定するのは少し精度が粗すぎると感じている。宅地一区画の寸法に見合った空間精度、たとえば15mから40m程度の地点ごとに、地盤調査結果に基づいて判定が行われてほしい。その地盤調査結果の解釈では、既存の規準に決められている安全率計算法を使うことが多い。しかしこれは安全な構造物を設計するための方法であって、そこには安全の余裕が含まれており、液状化危険度をやや過大に算出する傾向がある。たとえば2011年の地震後の評価でも、液状化の見逃し（計算上は液状化しないはずの地点が液状化してしまった）は無かったが、空振り（液状化するはずが、しなかった）は例があった（佐々木・谷本, 2012）。設計の道具なのだから、これは全く問題にならない。当然のことである。しかし宅地の評価、ハザードマップ作製のためであれば、過大評価は避けるべきである。なぜ過大評価になるのかということ、設計用の公式を提案するときに安全側の近似をすることが当然あったはずだからである。たとえば繰り返し三軸実験をとってみても、装置で再現できるひずみはせいぜい20%であり、その程度のひずみを液状化とみなしている。しかし実際に被災した地盤では、もっと大きなひずみが起きているはずなので、小さなひずみを液状化とみなすことで土を弱めに（安全側に）評価しているのである。

さらに、もともとの地盤調査データが、液状化した地点のデータを中心にしていても影響していそうである。液状化した地点の調査をして将来に生かすことは当然の作業なのだが、液状化しなかった地点のデータも同じくらい利用していないとバランスが取れない。実際にはそうなっていないので、液状化地点、つまり若齢の埋め立て地盤の性質に設計公式が影響されているのではないかと感じている。

現実には年代を経た沖積地盤が液状化した例はほとんどない。そこで年代とともになぜか液状化強度が増えているという年代効果をハザードマップ作製で考慮したい。そう考えて2011年の地盤の挙動を調査した結果、400年以上経過した戦国時代以前の地盤では、液状化強度が少なくとも4割増えている、という結論を得た（東畑他, 2013）。これは大変重要な成果！であり、これを用いて宅地

の評価方法を提案し、実用されるのを待っている。

河川堤防もまた廉価な構造物であるが、液状化の危険を抱えている区間はきわめて長い。また、従来は液状化しないと考えられていた粘性土地盤上の堤防でも2011年には数多くの液状化被害が起こり、実は堤体内部に問題のあることが認識された(Sasaki 他, 2012)。これは、もともと地表より上に構築された砂質の堤体が粘性土地盤に向かって圧密沈下したことから、水で飽和してしまったものである。そして雨水の浸透の影響もある。これは難しいことがらで、どこの堤防に液状化の危険が内包されているのかという地盤調査の精度の問題、地下水位より下にある液状化層をどうやって廉価に改良するか、地下水位より下からはドレーンで排水できない、という技術的問題がある。これらは今後解決してゆくべき問題である。

6. 終わりに

縷々述べてきたが、最後に読者の熟考を頂きたいのは、次の二点である。まず、どの程度まで液状化対策をするべきなのか、という問題である。完璧な安全はありえないし、完璧無被害を追求しただしたなら、かかる費用も莫大である。第二には、実用的な地盤調査法の開発と実用化である。精度は良いが高価な方法と、精度は並でも廉価で数を稼げる方法では、どちらがよいのだろうか。地盤は工場生産品ではないので、性質の空間的なばらつきは避けることができない。とすれば、10 m程度の間隔で大量の調査がこなせる実用的な方法のほうが価値は高いと思う。

世界的に都市膨張の続く現代にあっては、液状化の危険の高い地盤にも住宅や都市施設が拡大し続けている。液状化対策の需要は今後も世界的に増え続けるであろう。ひるがえって我が国には自然災害が多いが、別の言い方をすると、新しい防災技術を実地に試験できる実験室でもある。既存の規則を墨守するだけでなく、常に新しい方法を試しつつけることで、その効果が立証され、新しい技術市場を拓くことができるであろう。

〈参考文献〉

- 1) 浅田秋江 (1998) 住家の液状化被害の簡易予測法とその防止工法, 1983年日本海中部地震15周年記念誌.
- 2) 佐々木哲也, 谷本俊輔 (2012) 液状化に対する耐震設計, 基礎工, 40 (9) 55-59.
- 3) 東畑郁生, 田口雄一, 林田敏彦 (2013) 液状化判定法の評価, 基礎工, 41 (4) 13-16.
- 4) 濱田政則, 安田進, 磯山龍二, 恵本克利 (1986) 液状化による地盤の永久変位の測定と考察, 土木学会論文集, 376/III-6, 211-220.
- 5) Kokusho, T., Tanaka, Y., Kawai, T., Kudo, K., Suzuki, K., Tohda, S. and Abe, S. (1995) Case Study of Rock Debris Avalanche Gravel Liquefied during 1993 Hokkaido-Nansei-Oki Earthquake. Soils and Foundations, 35 (3), 83-95.
- 6) Loope, D.B., Elder, J.F., Zlotnik, V.A., Kettler, R.M. and Pederson, D.T. (2013) Jurassic earthquake sequence recorded by multiple generations of sand blows, Zion National Park, Utah, Geology, 41 (10) 1131-1134.
- 7) Sasaki, Y., Towhata, I., Miyamoto, K., Shirato, M., Narita, A., Sasaki, T. and Sako, S. (2012) Reconnaissance report on damage in and around river levees caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Soils and Foundations, 52 (5) 1016-1032.
- 8) Shimizu, Y., Yamazaki, Y., Yasuda, S., Towhata, I., Suzuki, T., Ioyama, R., Ishida, E., Suetomi, I., Koganemaru, K. and Nakayama, W., (2006) : "Development of real-time safety control system for urban gas supply network", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 132 (2) 237-249.
- 9) Youd, T.L., Harp, E.L., Keefer, D.K. and Wilson, R.C. (1985) The Borah Peak, Idaho Earthquake of October 28, 1983 - Liquefaction, Earthquake Spectra, 2 (1) 71-89.

東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）による液状化と過去の液状化履歴

わかまつ かずえ せんなしげき
若松 加寿江* 先名 重樹**

Key Word

東北地方太平洋沖地震，東日本大震災，液状化，液状化履歴，旧地形，微地形区分

1 はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（震災名：東日本大震災）では、東北地方と関東地方の広範な地域に液状化が発生した。筆者らは、地震後、2年半以上にわたって上記の広範な地域の液状化調査を実施してきた。現時点で液状化の発生が確認された地域は、北は青森県から、南は神奈川県まで南北約650kmの範囲の広域にわたっている。液状化は同一地点、同一地域で繰り返し発生する災害であり¹⁾、Mw9.0の巨大地震による液状化発生地点を把握することは、将来の被害を予防する上でも重要である。消費者庁と国土交通省は、この地震による住宅の液状化被害を踏まえ、住宅性能表示制度の中で液状化に関する情報提供の仕組みを整備しつつあり、平成27年4月に施行予定である²⁾。この情報の中には、液状化発生可能性に関する広域の情報として、液状化の履歴、旧土地利用、微地形区分などの情報も含まれている。

本文では、この地震により発生した液状化被害を、誌面の許す範囲で網羅的に報告すると共に、液状化が発生した土地の旧地形、微地形区分、過去の地震による液状化履歴等との関係についても述べる。

2 東日本大震災における液状化の発生

図1に、東北地方太平洋沖地震によって液状化が確認された地点の分布を示す。この図にプロットした液状化地点は、噴砂・噴泥・噴水・湧水が確認されたものに限定している。マンホールや下水等の管渠の埋戻し土の液状化のみと思われる場合は除外している。

液状化発生の情報源は、現地調査による他、被害報告書・論文、自治体からの情報、Google Earth

Proの2011年3月～4月上旬にかけての写真画像の判読によっている。航空写真判読による噴砂は、敷き砂、雨水等による局所的な湛水などは、液状化の痕跡として誤判読される場合が極めて多い。このため、地割れや噴砂孔など噴砂の供給源が確認できたもののみを噴砂痕として抽出した。

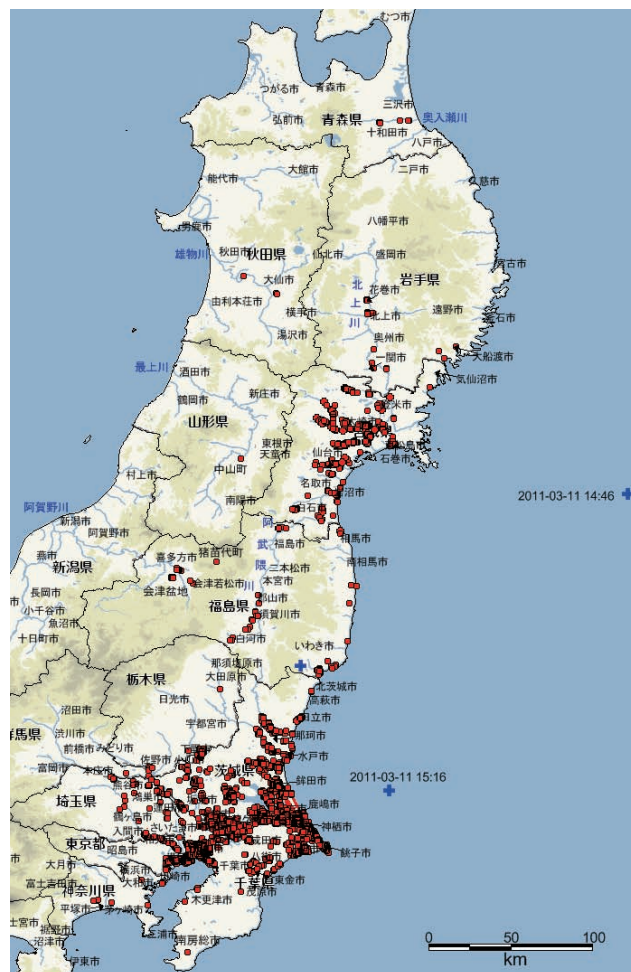


図1 東北地方太平洋沖地震による液状化発生地点

*関東学院大学理工学部 教授

**独立行政法人防災科学技術研究所 客員研究員

この地震は、2011年3月11日14時46分の本震の後に、大きな余震や誘発地震が多数発生した。噴砂等の発生は、本震時のものか余震・誘発地震によるものか、一部の事例を除いて区別できない。このため、本文では、本震・余震・誘発地震を区別せずに、東北地方太平洋沖地震による液状化地点として扱っている。

液状化の発生が確認された市区町村の数は、現時点で1都12県191市区町村（東北地方の6県63市区町村、関東地方の1都6県128市区町村）である。液状化は関東地方に特に多く、茨城県では44市町村中、42市町村で発生が確認されている。

本震の震央から最も遠い地点は、神奈川県平塚市真田3丁目の440.3kmで、次いで平塚市岡崎、茅ヶ崎市みずき2丁目、千葉県南房総市池之内の順となっている。液状化が確認された市区町村の本震での最大震度は、スポット的に噴砂が発生した一部の市町村を除いて震度5強以上である。このしきい値は過去の地震の事例とも整合している¹⁾。

以下に、地域別に液状化被害の状況および被害地の微地形区分、土地条件および過去の液状化履歴との関連を概観する。

3 東北地方の液状化

東北地方で最も液状化が多く発生したのは宮城県で、次いで福島県、岩手県である。青森県、秋田県、山形県でも局所的に液状化被害が起きた。液状化発生地点は、北上川、鳴瀬川、吉田川、名取川、阿武隈川などの大河川の沿岸に集中している。青森県、秋田県、山形県で起きた液状化も、奥入瀬川、雄物川、最上川の沿岸である。沿岸部での液状化発生情報は、福島県いわき市を除いて少ない。この原因として、津波による浸水や、福島第一原子力発電所の事故に伴う警戒・避難区域での被害調査ができなかったこともあるが、東北地方では海岸近くまで山地が迫り、低地の面積が少ないなど地形・地質的要因も考えられる。

岩手県では、北上川沿岸の8市町村で液状化が確認された。中でも花巻市と北上市では広い範囲に液状化被害が発生した。花巻市では、花北地区と呼ばれる一日市、坂本町、愛宕町、四日町、下幅で、噴砂や道路・住宅の液状化被害が発生した。花北地区は、かつては北上川が湾曲して流れていた場所で、1678年の河道付け替え工事で新川（現在の北上川）が開削された。旧河道は長らく水田として利用されてきたが、1960年代後半から家屋が建ちはじめ、1990年代の終わり頃には全て宅地化された。液状化は北上川の旧河道と自然堤防で

発生しており、古い旧河道による液状化被害として注目される。なお、一日市においては、1896年（明治29年）陸羽地震（ $M7.2 \pm 0.2$ ）の際に液状化が発生している¹⁾。

宮城県では、32の市区町村で液状化が確認された。図2に宮城県の液状化発生地点の分布に過去の液状化履歴地点¹⁾を重ね合わせて示す。図右上（北東）の地域は、大崎平野と呼ばれ、江合川、鳴瀬川とその支流の度重なる洪水によって、明治・大正期までは一大湿地帯が形成されていた。川沿いに自然堤防が形成されており、背後は後背湿地で極めて軟弱な粘性土地盤である。



図2 宮城県の液状化発生地点と過去の液状化履歴¹⁾および津波浸水域³⁾

この地域では、1962年4月30日の宮城県北部地震（ $M6.5$ ）、1978年6月12日の宮城県沖地震（ $M7.4$ ）、2003年5月26日宮城県沖地震（ $M7.1$ ）、2003年7月26日の宮城県北部の地震（ $M6.4$ ）で液状化が報告されており、7箇所でも再液状化も確認されている⁴⁾。中でも、江合川右岸の石巻市桃生町神取字西八反崎・北和渕の旧河道では東北地方太平洋沖地震で4回目の液状化発生となった。

液状化による家屋被害や堤防、道路、ライフライン等の公共施設の被害が特に集中したのは、涌谷町上谷地、大崎市鹿島台木間塚、美里町二郷慶半、JR古川駅前である。

図3に、大正元年（1912年）測量の上谷地付近の地形図に液状化発生地点を重ねて示す。図中の

空色の線は、現在の水涯線（陸部と水部を区画する水ぎわ境界線）である。上谷地では江合川の堤防が延長 650m にわたり最大 1.3m 沈下し、江合川に架かる涌谷上谷地橋は、堤防の沈下に伴い、両岸の橋台から踏み掛け版が脱落して、取り付け盛土との間に 1m 弱の段差ができた。上谷地内のほぼ全域の農地と宅地に噴砂を生じ、約 40 棟の家屋が液状化の被害を受けた。図 3 を見ると、上谷地地区には桑畑（Y マーク）が広がっている。桑畑は、洪水による土砂が堆積した場所の典型的な土地利用形態であり、地形的には自然堤防となる。液状化は江合川沿岸の桑畑で発生しており、北西部の下郡沼の干拓地では起きていない。後述のように、関東地方では旧池沼に液状化被害が極めて多かったことと対照的である。この理由としては、旧池沼が干拓されたままで、盛土されていないためと思われる。古川駅前のように後背湿地に盛土造成された地区では建物の傾斜や基礎杭の損傷が報告されている。

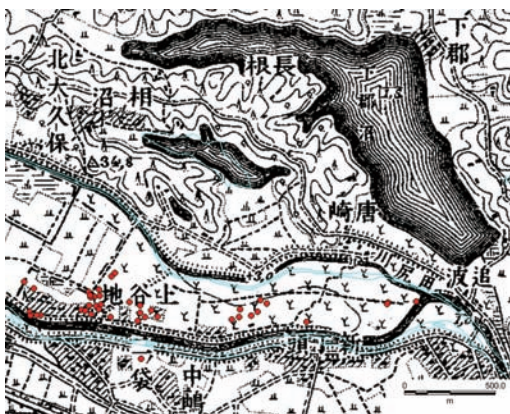


図 3 大正元（1912）年の上谷地付近（1/5 万涌谷）

宮城県では、大崎平野の他に、仙台市、利府町、白石市、加美町、大郷町などで宅地の液状化被害が発生した。被害地の大部分が丘陵や台地を宅地造成した谷埋め盛土地盤や、丘陵からの湧水が多い丘陵崖直下の湿地の盛土地盤である。

福島県では 18 市町で液状化が確認された。液状化は、いわき市など太平洋沿岸部、鏡石町、矢吹町、白河市など内陸部の阿武隈川沿岸地域、阿賀野川上流の会津盆地、磐梯山の西麓の猪苗代町長瀬川沿岸の 4 地域で起きている。

いわき市では、植田町根小屋、錦町花ノ井、錦町中迎の 3 つの地区、合計約 80ha に液状化被害が集中した。上記の 3 地区は市南部を流れる鮫川の蛇行流路の旧河道とこれに沿った地域である。写真 1 に、植田町根小屋の被害を示す。この地区の道路や宅地には写真のような大きな地割れが発生したことから、旧河道に向かって液状化による側

方流動が発生したと推測される。水道管路も旧河道の蛇行をなぞるように被災している。



写真 1 いわき市植田町根小屋における液状化被害（いわき市提供）

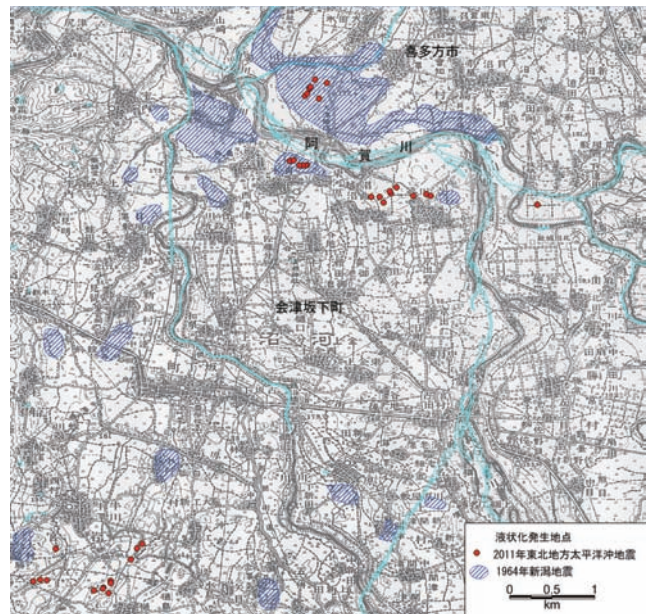


図 4 会津盆地における液状化発生地点（背景図は 1910 年測量 1/5 万地形図喜多方）

会津盆地は、日本海に注ぐ阿賀野川の上流の阿賀川とその支流が形成した盆地である。図 4 にこの地域における液状化発生地点を 1910 年の地形図、現在の水涯線（空色）と重ね合わせて示す。噴砂はいずれも農地で発生している。図には、1964 年新潟地震による噴砂地点も示しているが、2011 年東北地方太平洋沖地震による噴砂地点は、1964 年の噴砂地点の領域内か、ごく近傍で発生した。地形的に見ると、図 4 の北部（上部）の液状化地点は阿賀川の後背湿地と自然堤防、南西部（下部）は扇状地にあたっている。喜多方市によれば、噴砂があった阿賀川沿岸は、昔から洪水氾濫を繰り返した土地とのことである。

4 関東地方の液状化

図 5 に関東地方の液状化発生地点を示す。関東地方に関しては、国土交通省関東地方整備局が地盤工学会と共同で実施した液状化現象の実態解明

調査報告⁵⁾がある。この調査では、1都6県の96市区町村で液状化の発生が確認された。その後、筆者らが収集・整理した地点を追加したところ、液状化が確認された市区町村の数は、128市区町村となった。

東京湾岸、利根川をはじめとする河川沿岸、霞ヶ浦沿岸の広範な地域で高密度に液状化が確認された。以下に地域別に概観する。

4.1 東京湾岸地域

東京湾岸地域では、東京都江東区から千葉市にかけての東京湾岸埋立地で多数の液状化被害が発生した。千葉県⁶⁾の集計よれば、液状化等地盤被害発生世帯数は、浦安市が33,156世帯、習志野市6,182世帯、千葉市1,922世帯、船橋市1,739世帯、市川市66世帯となっている。液状化が発生した埋立地は、高度経済成長期以降（1955年頃～）に造成された地域である。1923年の関東地震では、東京都中央区月島、築地、江東区越中島など江戸時代から明治期の埋立地で液状化が発生したが、今回はこれらの地区では液状化は報告されていない。浦安市と千葉県美浜区では、1987年の千葉県東方沖の地震で液状化が発生しており、2011年には同じ場所が液状化している⁴⁾。

筆者らが自治体等の協力を得て調査した結果、市川市、船橋市、習志野市、千葉市では、埋立地より内陸側でも液状化が発生していたことが判明した。図5には市川市と船橋市の被害地点のみプロットしている（習志野市と千葉市については被害位置が開示されず）。内陸部の液状化地点は、埋立て前の旧海岸線沿いの砂州や下総台地を刻む谷底低地（谷津、谷津田と呼ばれている）に分布している。この地域の谷底低地は、一般的には粘性土地盤である。液状化した地層が自然堆積物か盛土等かは不明であり、今後の検討課題である。

4.2 利根川沿岸地域

茨城県と千葉県の県境には、関東平野最大の河川である利根川が流れている。利根川沿岸に位置する全ての市町村で液状化が発生した。茨城県側で12市町、液状化被害棟数が100棟以上の市町村は、潮来市2,543棟、神栖市1,643棟、稲敷市316棟、河内町145棟である⁷⁾。千葉県側で10市町、香取市2,462世帯、我孫子市1,613世帯、栄町365世帯、神崎町224世帯、印西市115世帯、成田市100世帯である⁶⁾。上記のうち、後述する潮来市、神栖市、



図5 東北地方太平洋沖地震による関東地方の液状化発生地点^{注)}

印西市、成田市以外の液状化は、利根川の氾濫や流路の変遷と関係が深い。

この地域は、水郷地帯として知られることからわかるように、江戸時代には一大湿地帯であった。図6は、利根川河川改修前の明治39（1906）年の地形図に、現在の水涯線と液状化発生地点を重ね合わせたものである。当時の流路は著しく蛇行していた。利根川第2期改修工事（1907～1930年）により蛇行した河川を直線化し、大正時代初頭に元の流路を締め切ったことで、沿岸には三日月型の沼地が多数残った。1950年～1960年にかけて、これらの沼地は利根川の浚渫砂で順次埋め立てられ、大部分は水田として利用されてきた。

旧河道にあたる地区では、1987年千葉県東方沖の地震と2011年の東北地方太平洋沖地震の両方で大規模な液状化被害が発生した⁴⁾。ただし、液状化は埋立て部分の外側の自然地盤でも発生しており、埋土だけでなく利根川が運搬してきた自然堆積の砂も液状化したと推定される。旧河道部に建つ家屋が液状化被害を受けたことはいうまでもないが、自然堤防上の家屋も多く被害を受けている。家屋の被害形態としては、基礎の沈み込み（最大1m程度）、側方流動が発生したことより基礎が引き裂かれた、敷地地盤全体が沈み込んだ（最大1m程度）などのパターンがあった。

この地域は農地が多いため、液状化による被害家屋数は東京湾岸部に比べて少ないが、写真2に示すように広域に湛水し、昔の沼が再現されたよ

注：現時点（2013/10/20）で液状化に関わる家屋の罹災データが未入手の千葉県習志野市・千葉市・佐倉市、富里市、八千代市、匝瑳市をはじめとする約8700件はプロットされておらず、収集した情報に粗密があることに留意されたい。

うになった。このような光景は利根川沿岸で多く見られた。

利根川以外でも、茨城県の久慈川、那珂川、涸沼川、小貝川、鬼怒川、江戸川、古利根川、荒川沿岸地域で液状化被害が発生した。

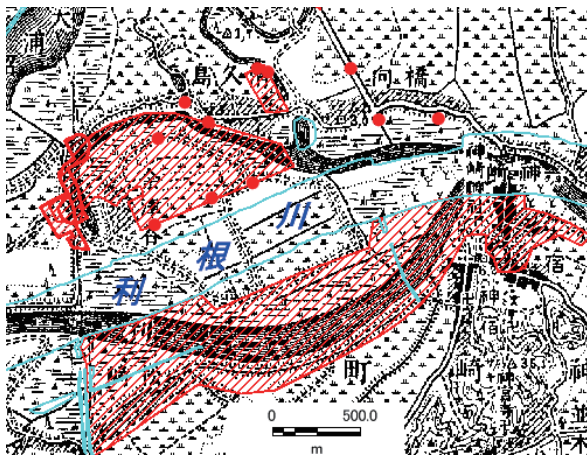


図6 利根川沿岸の液状化範囲(ハッチと丸印)と旧地形(1906年1/5万地形図佐原)



写真2 旧河道での液状化による滞水⁸⁾

4.3 霞ヶ浦・北浦沿岸の湖岸堤地・干拓地

霞ヶ浦の周囲には明治期には大小多数の湖沼があった。1914年(大正3)の耕地整理法の改正により、湖沼海面の埋め立て・干拓も耕地整理法の適用を受けるようになり、霞ヶ浦でも大規模な干拓事業が開始された。東北地方太平洋沖地震では、このような干拓地の一つである潮来市日の出地区の住宅とライフラインに著しい液状化被害を生じた。日の出地区の一部では、1987年千葉県東方沖の地震の際にも液状化被害が発生している⁴⁾。潮来町役場(1987年地震当時)によれば、日の出地区は内浪逆浦と呼ばれた湖沼で、昭和16年から25年にかけて干拓され水田化された。昭和45年に干拓地に盛土が施され宅地化された。盛土の厚さは平均2.8m程度で、外浪逆浦の浚渫砂7,288,221m³をサンドポンプで圧送して造成したとのことである。

日の出町地区の他にも、鰐川(潮来市)、小見川(香取市)、神池(神栖市)、牛久沼(つくば市)、霞ヶ浦(土浦市)、手賀沼(我孫子市)などの干拓地で

家屋の液状化被害が発生した。ただし、全く液状化が起こっていない干拓地も多数ある。干拓地の地下水位は地表付近にあり地域差はほとんどない。干拓後の盛土材料によって液状化の有無が分かれたと考えられる。

霞ヶ浦や北浦の湖岸低地でも液状化が発生した。土浦市、行方市、鉾田市、鹿嶋市では、霞ヶ浦や北浦に面する湖岸デルタや砂州(縄文海進時の汀線沿いに形成された砂州)で多数の家屋の液状化被害が発生した。

4.4 太平洋沿岸地域

茨城県の神栖市、鹿嶋市、千葉県旭市などの太平洋沿岸地域では、極めて多数の家屋やライフラインの液状化被害が発生した。地形的に見ると、神栖市は砂州・砂礫州と砂丘、鹿嶋市の沿岸部は砂丘、旭市は大部分が砂州である。自然地盤での液状化発生は比較的少なく、多くが以下に述べる砂鉄や砂礫の採掘跡地の埋戻し地盤である。

日本は、世界でも有数の砂鉄の産地で、1960年代頃まで全国各地で砂鉄の採掘が盛んだった。砂鉄の採掘は露天掘りで、深さ数mから最大10mの穴を掘り、砂鉄だけ選別した後、砂を埋め戻して締固めもしなかったため、砂鉄採掘跡地の地盤はきわめて緩い砂地盤となっている。

千葉県の九十九里浜の北部の旭市も砂鉄の採掘が盛んだった地域の一つで、明治時代は波打ち際で採掘され、戦後、護岸堤防が建設されると内陸側に移動していき、田畑・宅地の過半は採掘が行われたとのことである。この地域では、1987年の千葉県東方沖の地震の際にも砂鉄採掘跡地の埋戻し地盤で液状化被害が発生した。2011年の東北地方太平洋沖地震では、1987年の被災地と同一地区を含むさらに広い範囲で甚大な液状化が発生した⁴⁾。旭市における液状化被害家屋数は787世帯⁶⁾であるが、その大部分が砂鉄採掘跡地を宅地に転化した土地と聞く。

同様な液状化被害は、1968年十勝沖地震の際に青森県三沢市の海岸地帯で、1993年北海道南西沖地震の際には長万部市内で発生している。

旭市と利根川を挟んで北側の神栖市や鹿嶋市でも、同様なことが行われている。この地域は建材・造園用の良質な砂や砂利の産地であり、現在でも市内各所で採取が行われている。掘削深さは8~10m程度で、地下水位が高いため掘削すると地下水が出てきて池のようになる。砂礫はサンドポンプで浚渫され、掘削後は質の良くない土で埋め戻される。噴砂が50cm以上も積もり新築の住宅が大

大きく傾いた神栖市深芝地区は、この砂利の採掘跡地の埋戻し地盤を宅地化したとのことである。

砂利採掘跡地の埋戻し地盤での液状化は、青森県奥入瀬川の沿岸農地でも見られた。2004年新潟県中越地震の際には、長岡市の信濃川沿いの水田地帯で広範に発生した。

一方、自然地盤の砂州が液状化した事例はこれまでほとんどなかったが、東北地方太平洋沖地震では、銚田市や土浦市の旧市街が立地する砂州で住宅の液状化被害が多数起きている。

砂丘は風によって運搬された細砂や中砂が堆積する波状の小高い地形で、一般に砂州・砂礫州の上に形成され、表層はN値10前後と緩い。地下水位が高い砂丘の末端部では液状化が起りやすく、これまでも砂丘での液状化事例は極めて多い。

神栖市と鹿嶋市にまたがる鹿島砂丘では、宅造や砂礫の採掘（鹿島砂・深芝砂利の名でブランド化している）などにより大部分が人工的に改変されているが、液状化被害が報告されているのは、地下水位が浅い砂丘の末端部である。

4.5 台地間の谷底低地、台地崖下の後背湿地

利根川を挟んで北部の茨城県側と南部の千葉県側には、筑波・稲敷台地、下総台地と呼ばれる台地が広がっている。この台地の谷底低地で液状化が多数発生した。その一例が、東海村南台団地で、台地を刻む谷埋め盛土部分や台地崖で地盤の滑動崩落・液状化が発生し、約60軒の住宅が全壊・大規模半壊等の大きな被害を受けた⁹⁾。78棟の家屋被害が発生し香取市液状化対策事業の対象地区となっている香取市府馬も、谷埋め盛土の造成地である。その他、我孫子市柴崎台、土浦市小岩田西、阿見町阿見、行方市小幡、成田市不動ヶ岡で10棟以上の被害が出ているが、数棟程度の被害を入れると枚挙のいとまがない。本震の震央から最も遠い液状化地点である平塚市や茅ヶ崎市の液状化地点も谷底低地に位置している。

以上の造成地は、造成の規模や時期も様々で、改変前の谷や沢の規模も様々である。盛土材料は不明であるが、筆者らの現地調査の印象では台地崖湧水が豊富で地下水位が高い地区が多かった。

旭市、山武市、東金市においては、九十九里平野の砂州背後の後背湿地で、台地崖沿いに列状をなして家屋被害が発生した。山武市と東金市の液状化地点は、1987年の千葉県東方沖地震の際の被害地点の近傍であり、全く同じ場所での再液状化もあった⁴⁾。この地域も、台地崖湧水により腐植土層を含む極めて軟弱な地盤が形成されている。そ

の上に盛土造成したことにより、液状化しやすい地盤が作り出されたと考えられる。

5 あとがき

2011年東北地方太平洋沖（東日本大震災）による液状化発生地点の分布を概観し、過去の液状化履歴や液状化地点の微地形区分、旧土地利用、旧地形など土地条件との関係について述べた。

筆者らの調査により明らかになったことをまとめると以下ようになる。

- 1) 顕著な液状化被害は、震度5強以上の沖積低地、埋立地、谷埋め盛土地盤で発生した。このことは、過去の液状化履歴と同様である。
- 2) 過去に液状化の履歴が多い地域では、東北地方太平洋沖でも液状化被害が発生した。全く同一地点の再液状化も見られた。
- 3) 過去の液状化の記録が残されていない地域（福島県内陸部や茨城県北部）でも多数の液状化被害が発生した。この地域は、近年、大地震に見舞われていなかった地域である。
- 4) 液状化が起きた土地条件は、過去の液状化履歴地点と同様であり想定外はない。ただし、液状化の発生が広域にわたって高密度に発生したことに着目すれば、未曾有の液状化災害と言える。

〈参考文献〉

- 1) 若松加寿江：日本の液状化履歴マップ745-2008，東京大学出版会（2011）
- 2) 消費者庁・国土交通省：住宅性能表示制度の見直しに係る日本住宅性能表示基準・評価方法基準等の改正案について及び（別添）住宅性能表示制度の見直し案，<http://search.e-gov.go.jp/servlet/ Public?CLASSNAME=PCMMSTDETAIL&id=155130716> [cited 2013/9/6]
- 3) 国土地理院：10万分1 浸水範囲概況図，<http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku60003.html> [cited 2011/4/18]
- 4) 若松加寿江：2011年東北地方太平洋沖地震による地盤の再液状化，日本地震工学会論文集，12（5），69-88（2012）
- 5) 国土交通省関東地方整備局・地盤工学会：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書，<http://www.ktr.mlit.go.jp/bousai/bousai00000061.html> [cited 2011/8/30]
- 6) 千葉県防災危機管理部：東日本大震災の記録，288-289，（2013）
- 7) 茨城県：東日本大震災の記録—地震・津波災害編—2分冊の1，33，（2013）
- 8) 東北地方太平洋沖地震被害状況，千葉県神崎町，http://www.town.kozaki.chiba.jp/soumu/bousai/23.03.11_jishin_higai.pdf [accessed 2011/10/1]
- 9) 東海村南台団地滑動崩落・液状化被災者連絡会，<http://minamidai.info/> [accessed 2013/10/18]

ピエゾドライブコーンによる 液状化判定技術 (動的サウンディング)

さわだ しゅんいち*
澤田 俊一*

Key Word

液状化, 動的貫入試験, サウンディング, 細粒分含有率, 間隙水圧

1 緒言

地盤の液状化被害を予測しようとする場合、一般に対象とする各種土木建築構造物の設計指針基準等に準拠して、ボーリング調査と室内土質試験を実施する。この場合、ボーリング調査で標準貫入試験(SPT)から得られる N 値の他に、現場で採取した土質試料を用いた室内土質試験から得られる細粒分含有率(F_c)が最低でも必要となる。従来の方法では、現場と室内試験のシーケンシャルな作業が故に、液状化判定を行う上で、時間及び費用が掛かるという問題点を抱えている。

“ピエゾドライブコーン (Piezo Drive Cone ; 以降“PDC”)”は、上記の問題点を解決する目的で、原位置のみで N 値及び細粒分含有率(F_c)の、評価を可能とした新しい地盤調査法である^{1)~24)}。本報では、PDCの試験法の概要、使用する動的貫入試験装置及び計測装置、さらには調査手順と本調査法の特徴となる細粒分含有率(F_c)の推定方法及び液状化判定の手順を紹介する。また、実務への適用事例として、河川構造物の耐震点検での適用事例を、さらに技術の普及を目指した汎用型PDC装置の特徴と適用性を紹介する。

2 ピエゾドライブコーン (PDC) の概要

PDCの最大の特徴は、地盤に貫入する先端コーンの内部に耐衝撃性の高い4ゲージタイプの高精度圧力センサーを組み込み、動的貫入時にコーン先端での間隙水圧応答を計測する点である。さらに、地上部には非接触式で高速度応答を有する高耐候性で高精度な磁歪リニア変位計を配置し、1打撃毎の地盤中に発生する過剰間隙水圧応答と貫入変位量の測定を同時に行える動的サウンディングである。

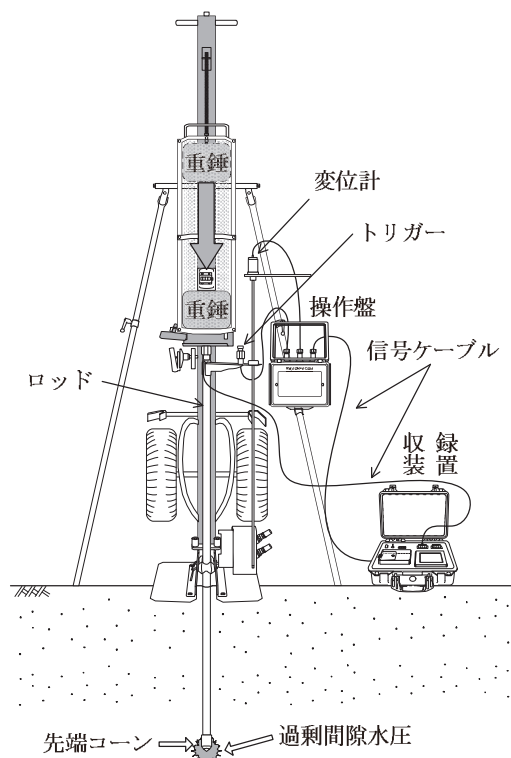


図1 試験装置全体概要図

PDC試験装置の全体概要図を図1に、圧力センサーを組み込んだ先端コーンの構造図を図2に示す。PDC試験装置は、1打撃毎の貫入量から貫入抵抗 N_d 値を算出する。 N_d 値はボーリング調査で実施される標準貫入試験(SPT)の N 値と等価な地盤の貫入抵抗値である。さらに、測定された過剰間隙水圧の応答から細粒分含有率(F_c)を推定することにより、各種建築土木構造物の設計指針基準等に準拠した液状化の判定を行うことを可能とした。

* PDC コンソーシアム, 学識者委員会委員 (所属: 応用地質株式会社) 〒331-0812 埼玉県さいたま市北区宮原町1-66-2

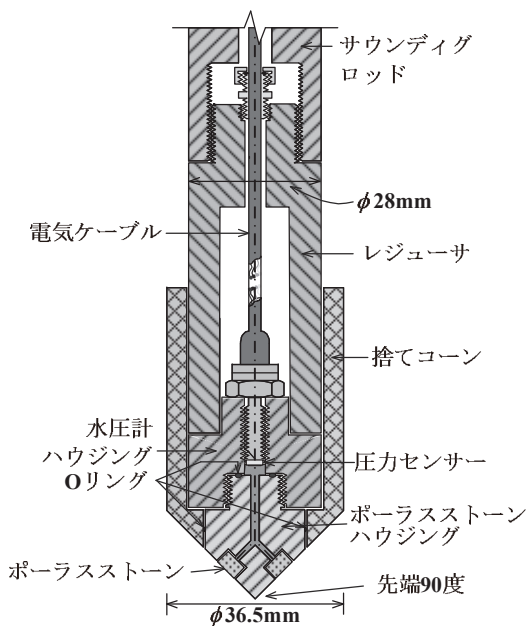


図2 先端コーンの構造図（ミニラム仕様）

平成24年4月には全国地質調査業協会連合会の新マーケット創出・提案事業制度を利用した“PDCコンソーシアム (<http://www.pdc-cons.jp/>)”が設立され、PDC機器に関する販売、レンタルを開始した。これと同時に、クラウドを用いたデータ整理方法の公開と共に、学識者委員会（委員長：東京大学 東畑郁夫教授）が開催され、PDC技術の普及と共に、高度利用に関する研究活動を行っている。

3 動的貫入装置

PDCに用いる貫入装置は動的貫入装置である。動的貫入は、重錘を自由落下させることにより、重錘の位置エネルギーをアンビルで貫入運動エネ

ルギーに変換し、ロッドを通じて先端コーンを地盤に貫入する。

貫入方法での特徴は、擬似静的に地盤に圧入する電気式静的コーン貫入試験（CPTU）とは異なり、地震時の液状化現象が発生する地盤の排水条件と同じ非排水条件下での破壊歪領域での動的な地盤強度を計測している点である。

PDCはこの打撃貫入時の先端コーン部で発生する間隙水圧応答を計測し、土質の粒度特性を推定する。現在PDCは打撃貫入試験に、300Nの重錘を高さ35cmで落下する軽量型動的コーン貫入試験（ミニラム）を標準仕様としている。一方、635Nの重錘を高さ50cmから落下するスウェーデン式ラムサウンディング（SRS）と宅地地盤等の軽量構造物の液状化判定用に浅部の地盤調査に特化した200Nの重錘を高さ25cmから落下する超軽量型動的コーン貫入試験に装着したPDC（以降“ μ PDC”）を、順次PDCコンソーシアムを通じて運用をして行く計画である。

写真1は現在PDCコンソーシアムで標準タイプとしているミニラム仕様のPDC、写真2にはSRS仕様のPDC、さらに写真3には、ミニラムをクローラーに搭載した仕様のPDC、写真4は μ PDCを示している。将来的には、さらに小型化したハンディータイプ（携帯可能な小型機）仕様も並行して製品化のための開発を行っている。PDCでは、必要打撃貫入能力の違いにより動的貫入装置を使い分けることを目指している。ミニラム仕様、SRS仕様及び μ PDCの使い分け方法を以下に示す。想定されるN値の深度方向の単純平均値を N_{mean} 値



写真1 ミニラム仕様のPDC（標準仕様）



写真2 スウェーデン式ラムサウンディング（SRS）仕様のPDC（試作機）



写真3 ミニラムをクローラーに搭載した仕様のPDC

として予定調査深度を D_{max} (単位:m) としたとき、その積を N_D 値 ($= N_{mean} \times D_{max}$) と定義する。 N_D 値 < 200 となる地盤 (例えば、 N 値が 10 未満で 20m 以浅) の場合、ミニラムを選択、 N_D 値 ≥ 200 の場合には SRS を選定する。なお、 μ PDC は N_D 値 < 50 (例えば、 N 値が 5 未満で 10m 以浅) の範囲を目安とし、戸建て住宅等の小規模建物の地盤調査等の軟弱な地盤の浅部調査に特化した仕様と位置付けている。

4 PDC 試験装置

PDC は図 1 の試験装置全体概要図に示すとおり以下の装置から構成される。

- ① 先端コーン：打撃貫入時に発生する間隙水圧を計測する高精度圧力センサーが組み込まれた先端コーン。
- ② 動的貫入装置：動的貫入をする重錘落下装置であり、現時点での PDC コンソーシアムではミニラム仕様を標準としている。打撃エネルギーの大きい SRS、小規模建築物用に超軽量型仕様の μ PDC は順次、ラインアップして行く計画である。
- ③ 変位計：打撃貫入するロッド頂部の貫入変位量を高速で計測する磁歪リニア変位計。
- ④ トリガー：打撃貫入する打撃するタイミングを検知する近接センサー装置。
- ⑤ データロガー：高速サンプリング・大容量記憶が可能なデータ収録装置。

PDC の主要部はいずれも、重錘の自由落下によるエネルギーを利用した動的貫入試験装置、打撃するタイミングを検知するトリガー、間隙水圧計を内蔵した先端コーン、打撃貫入時の瞬間的な貫入量を計測する変位計と先端コーン周辺地盤に発生する過剰間隙水圧と貫入量を記録するデータロガーから構成される。データロガーで収録されるデータは、間隙水圧の印可電圧と応答電圧、地表位置での磁歪リニア変位センサーの応答電圧の 3



写真4 μ PDC (試作機)

成分である。間隙水圧応答値は、電気信号として中空のロッドを通した信号ケーブルを伝わり地上の収録装置で貫入変位量と共に A/D 変換し記録する。

5 地盤定数の評価方法

5.1 動的貫入強度 (換算 N 値: N_d 値) の評価

図 3 には調査ボーリング近傍で実施した地点でのミニラム仕様の PDC において計測された N_m 値を 1 打撃毎に標準貫入試験 (SPT) で得られる N 値 (以降 " N_{SPT} 値") 相当に換算した N_d 値 ($N_d = 1/2 N_m$) の深度分布例を示した。同図には近傍で実施した N_{SPT} 値も重ねて示している。 N_d 値は N_{SPT} 値と良く一致することが判ると共に、1m ピッチで実施される N_{SPT} 値では見えなかった薄層の存在や互層状況が N_d 値の分布からは良く観察でき、PDC を用いた計測での深さ方向の分解能の高さが確認できる。

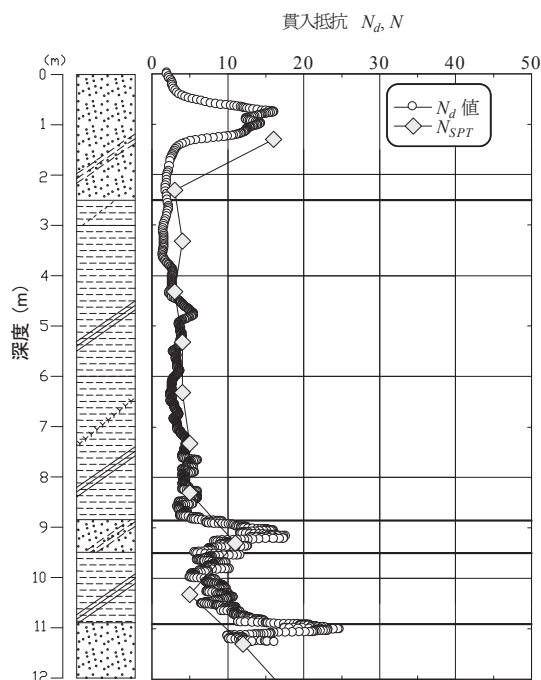


図3 貫入抵抗 N_d 値, N 値例

5.2 土質区分(細粒分含有率: F_c) の評価

打撃貫入時に先端コーンが地盤内に貫入されて発生する過剰間隙水圧は地盤の透水係数(k)に依存し、細粒分の多い地盤では少ない地盤に比べて貫入完了時点での間隙水圧(u_R)が大きくなる。図4には細粒分含有率 $F_c = 70\%$ の沖積粘性土 (A_c : 点線) と $F_c = 10\%$ の沖積砂質土 (A_s : 破線) さらに $F_c = 30\%$ の中間土的な盛土 (F_{cs} : 実線) での打撃貫入時の貫入変位量と応答間隙水圧の計測波形記録例を示す。 $F_c = 70\%$ の沖積粘性土 (A_c : 点線) の貫入完了後に持続する間隙水圧 (u_R) は沖積砂質土 (A_s : 破線) 及び盛土 (F_{cs} : 実線) に比べると大きい。図5には u_R を有効上載圧 (σ'_v) で正規化した間隙水圧比 (u_R / σ'_v) と PDC 実施地点の近傍での調査ボーリングで採取した試料を用いて実施した室内土質試験から得られた細粒分含有率 (F_{Clab}) の関係を示す。 u_R / σ'_v と F_{Clab} の関係は原点を通る1次関数で相関良く近似することができ

F_{Clab} が 100% 未満では (1) 式の関係が認められる。

$$F_{Clab} = 18 \cdot (u_R / \sigma'_v) \dots\dots\dots (1)$$

図6には(1)式を用いて土質区分境界を明示した u_R / σ'_v の深度分布例を示す。並列して示した調査ボーリングによる柱状図に示された土質区分と間隙水圧比から推定される土質区分の相関は非常に良いことが判る。

5.3 動的せん断強度比 (R) の評価

PDC を用いた動的せん断強度比 (R) の評価の流れを図7に示す。PDC による動的せん断強度比 (R) の評価には最初に単位体積重量 (γ_t) を仮定する必要がある。しかし、計測結果から細粒分含有率 (F_c) が推定できることから砂質土、粘性土もしくは中間土と言う土質の識別ができ、同時に N_d 値から緩いとか、密実あるいは締まったと言う

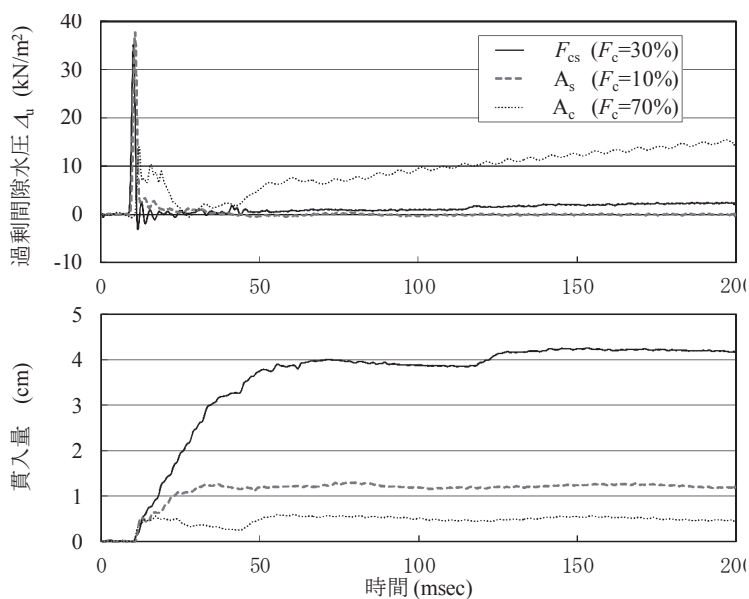


図4 過剰間隙水圧と貫入量の計測波形記録例

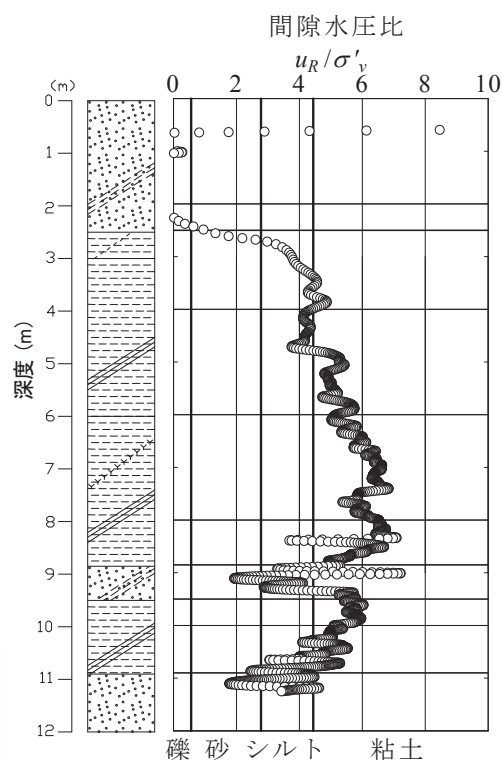


図6 過剰間隙水圧比の深度分布例

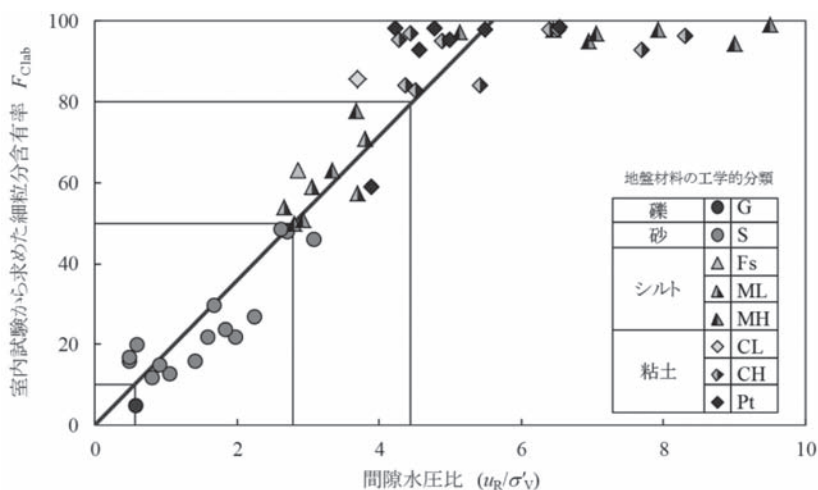


図5 過剰間隙水圧比と細粒分含有率の関係

状態も評価できる。このことから γ_t は比較的容易に再評価でき、1度もしくは2度の繰返しで妥当な値を設定することが出来る。なお、この作業は、コンピュータ内の演算処理によって自動的に処理されることから、人的作業負担は少ない。

PDC より γ_t 、地下水位、 F_c 、 N_d 値が求めれば各種土木建築構造物の設計指針基準に基づいた地盤の液状化強度の算出が可能となる。図8(c)には、PDCによる動的せん断強度比 (R_{PDC}) と従来のSPTの N 値及び現場で採取した試料を用いて実施した室内土質試験結果の F_c から求めた動的せん断強度比 (R_{SPT}) を示す。同図(d)に道路橋示方書(2002年度版)の液状化判定に準拠して算出した液状化に対する抵抗率 (F_L) も示す。 F_L はレベル2地震動のタイプI(プレート境界型の大規模な地震を想定したタイプであり、加速度振幅は大きくないが継続時間が長い想定地震)についての結果である。従来法のSPTによる判定では評価できなかった細かい動的せん断強度比 R 、 F_L の深度分布が得られると共に、PDCを用いた動的せん断強度比の平均値は、従来法と概ね一致するものの土層内では変動が大きいことが確認できる。

6 河川堤防耐震点検での適用事例 ～変形解析の精度向上～

河川堤防の耐震点検では、堤防横断方向の堤体と基礎地盤土層断面をモデル化し液状化に伴う地震後の堤防天端の沈下変形量を解析する。河川堤防に求められるレベル2地震動に対する耐震性能は、「河川の流水の河川外への越流を防止すること」

で、「地震後の堤防天端高が照査外水位を下回らないこと」である。

つまり、変形解析で得られる地震後の堤防天端高と照査外水位との高さ比較を行い、耐震性能を満足できるかを判定する。

「レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル」²⁵⁾ で推奨される地震時変形解析は有限要素法による静的変形解析である。有限要素法では、河川堤防の横断面に対し2次元の地盤モデルを作成する必要がある。しかし、2次元の地盤モデルの作成と言いつつも、堤防横断方向に複数の調査ボーリングを実施して地層構成の連続性、傾斜や層厚の変化等の詳細まで把握することは少ない。多くの場合は堤防横断面に対し、1箇所のボーリング調査結果を基に、堤防直下の基礎地盤では水平成層に土層構成をモデル化する。これでは、高度な解析手法を用いても、複雑な土層構成を有する地盤での妥当な解は得ることが出来ない。本来2次元断面をモデル化して解析を実施するのであれば、地盤情報に関しても堤防横断面に対して、少なくとも堤内、天端及び堤外と3箇所以上で地盤調査した結果を用い、堤防直下の土層断面の傾斜や層厚の変化をモデル化することが望まれる。

写真5は河川堤防の堤外側(川表側)でPDCを実施した状況写真である。単管足場の狭い場所、かつ潮位の低い時間帯を狙い短時間で実施が可能となるPDCの特徴を生かした調査事例である。

図9には、河川堤防で実施した地盤調査で得られた堤防横断方向の土層断面を示す。図9(a)は1箇所のボーリング調査結果により作成した断面、

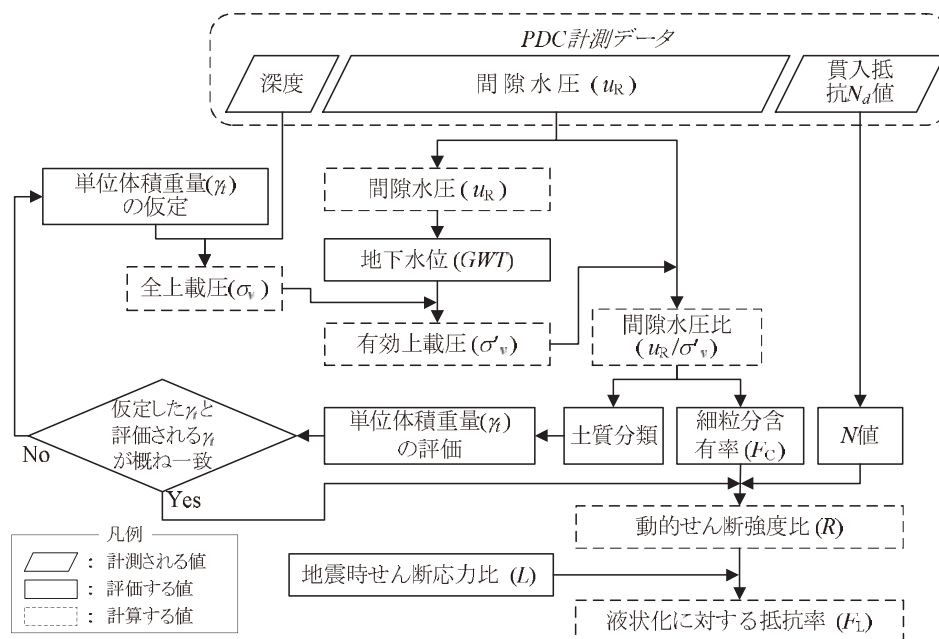


図7 PDCによる液状化評価の流れ

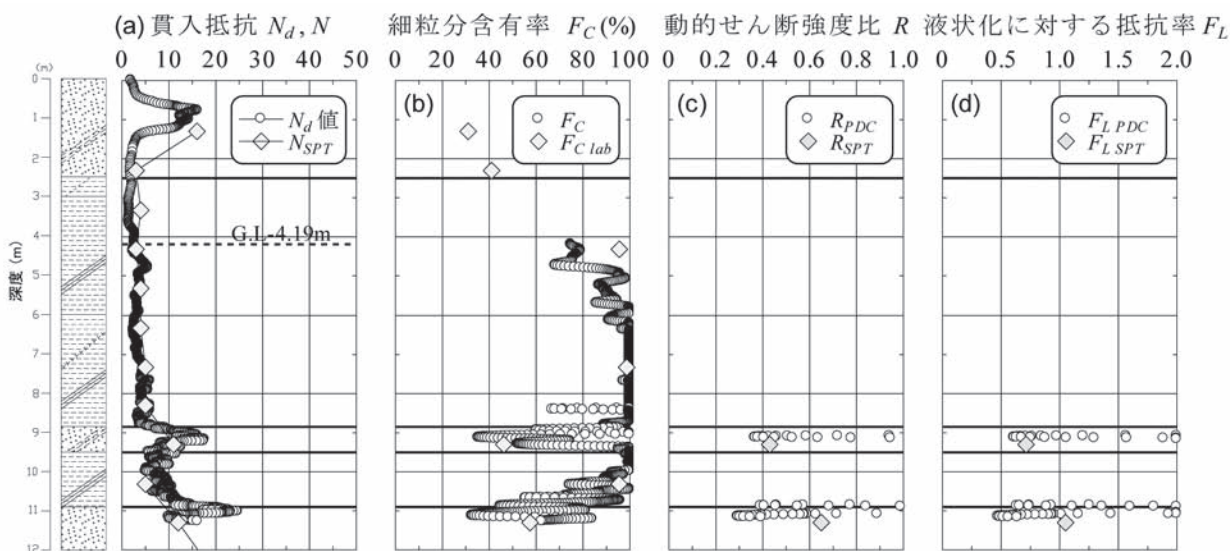


図8 液状化評価の深度分布例（従来法とPDCの比較）

図9 (b) は堤内外の法尻部2箇所 でPDCを追加実施して作成した断面である。PDCを追加したことにより堤内側から堤外側への地層の傾斜を確認することができる。また、砂質土層 (As₂層) が堤内側で消失すること、さらには堤体直下には分布しない粘性土層 (F₃層) が堤外側に分布することも明らかにできた。

図10は、図9の土層断面をモデル化して解析した地震後の地盤変形図である。堤防天端1箇所での調査結果で地盤のモデル化を水平成層とした図10 (a) の場合は液状化層が堤内側と堤外側の両方向に伸びるように変形 (ストレッチ変形) している。これに対し、PDCを追加して土層断面の精度を上げた図10 (b) の場合は、地層の傾斜と同様に液状化層が堤内側から堤外側の1方向へ流動する変形となっている。点検指標となる天端平均沈下量は図10 (a) に比べて図10 (b) の方が大きく1本のボーリング調査によりモデル化した水平成層地盤断面では、危険側に誤判断する結果となっている。安全に正しく点検を行う上でも、堤防横断方向の土層解析断面の精度向上の重要性を示し

ていて、PDCの有効性が確認できる事例である。

7 新しく開発した汎用型データ ～収録装置の特徴と適用性～

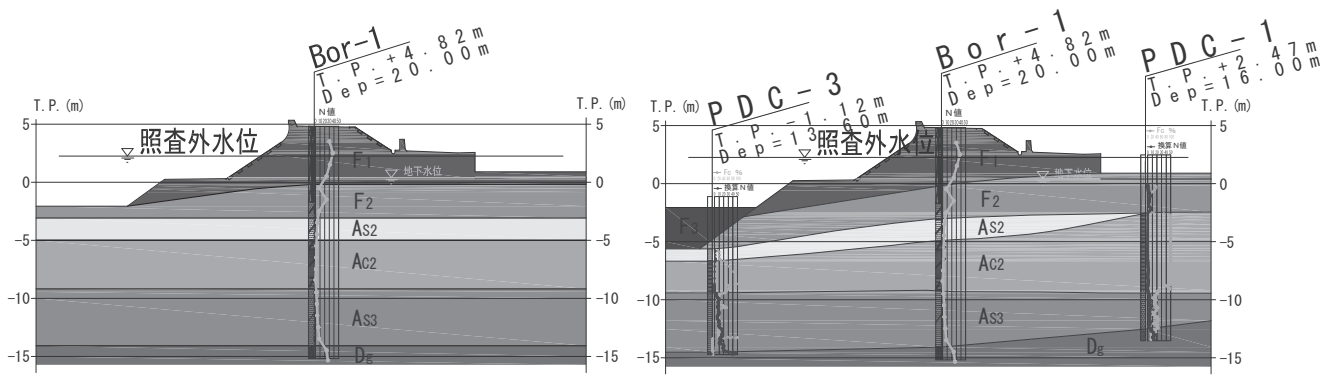
写真6に操作パネルとして手元操作盤を採用した汎用型PDCの全景写真を示す。これまで現場での作業は、打撃貫入操作員として2人、データ収録員を1人配置し、計3人体制で実施していた。写真7には新しく開発した汎用型PDCのデータ収録装置を示す。写真6の全景に見られる通り、タッチパネル式の手元操作盤を採用することにより、打撃貫入操作員がデータ収録員を兼ねることを可能とした。このことにより、3人から2人体制で実施でき、現場コストを30%削減した。この汎用型PDCでは打撃貫入装置の脚部にタッチパネル式手元操作盤を固定して打撃貫入操作員がデータ収録操作して行う。このため、専門の電気技術者でなくても収録操作が行えるよう配線系も集約することで取り扱いの簡素化を図った。

汎用型PDCの開発上の特徴及び適用性を以下に示す。



写真5 河川上での簡易足場を用いたPDC実施状況

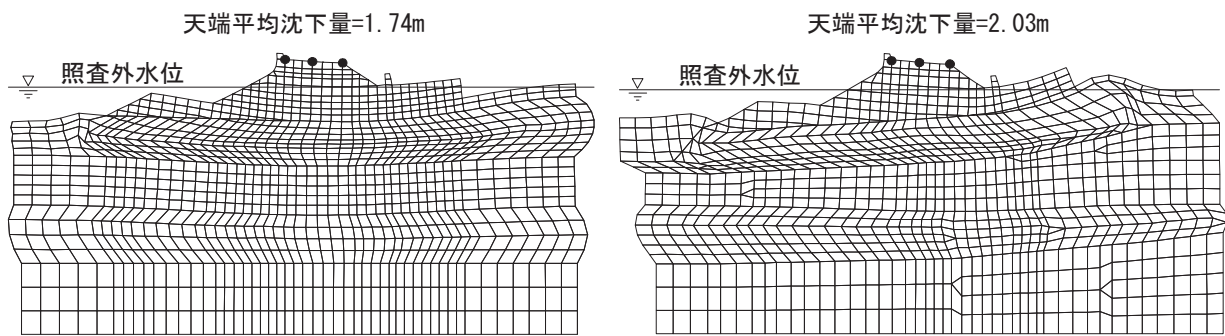
- ① これまで研究目的に付加していたデータ収録装置の余分な機能を省き、地盤の液状化判定に目的を絞って操作を標準化した。
- ② タッチパネル方式のコンパクトな手元操作盤を設けることによりデータ収録装置の作動/停止の指示、及びデータ収録の動作確認を打撃貫入操作員でも行えるようにし、現場作業員を削減した。
- ③ 従来はデータ収録装置の性能により内部データのシーケンシャルファイル番号の桁数が3



(a) 1箇所での従来法ボーリング調査での場合

(b) PDC を用いた追加調査で精度を向上した場合

図9 調査結果に基づいた想定土質断面図



(a) 1箇所での従来法ボーリング調査での場合

(b) PDC を用いた追加調査で精度を向上した場合

図10 液状化に伴う地盤の剛性低下を考慮した静的地盤変形解析結果 (残留変形図)

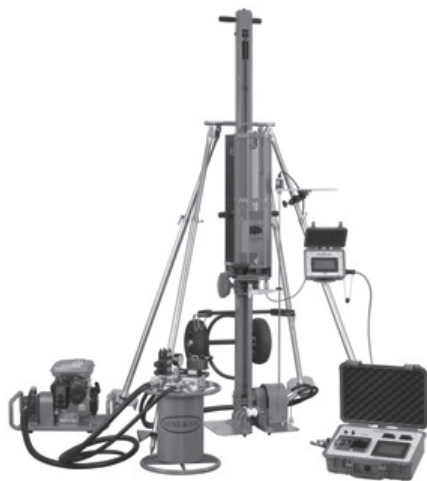


写真6 汎用型 PDC システムの全景 (標準ミニラム仕様)



写真7 汎用型 PDC のデータ収録装置部

桁に縛られ、1地点で数度メモリーカードの交換が必要であった。汎用型では、桁数を5桁まで増やし、これまで時間を割いていたメモリーカード交換を1地点の調査中には行わないデータ収録装置 (写真7) を新たに開発した。

④メモリーカード交換忘れによるデータの上書き損失を防止するため、データのフェイル・セーフ化を進め上書きによるデータ損失を防

止する新たなデータ記録方式を採用した。

8 あとがき

ピエゾドライブコーン (Piezo Drive Cone; PDC) は、地盤の動的貫入強度 (N_d 値) と同時に土質の識別を可能とした新しい地盤調査方法である。原位置で土質の識別ができることにより従来、調査ボーリングを実施した後に、採取した試料を用い

て室内土質試験を実施した粒度試験結果を待ってしか算定できなかった液状化判定が、原位置試験のみで短時間に低コストで行える。

原位置で行うサウンディングのみで液状化判定が行えることは、より簡易に短時間で地盤パラメータとなる設計用値の設定ができることであり、PDCの最大の特徴である。また、地盤の不均質性を適切に評価するためには、空間的分解能の高い調査を行うことが重要であり、簡易で経済的なPDCをはじめとするサウンディング技術は不可欠な技術と言える。本報では平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震を経験し、今まさに効率良く地盤の液状化判定を行うことが求められている河川堤防の耐震点検のための調査の適用事例、さらには現場作業の実践を通じてより機動力を増して効率的に作業を行う汎用型データ収録装置の開発内容を紹介した。

一方、昨今では小規模構造物である戸建住宅における液状化被害軽減も新たな技術的命題として示されている。このことから、より軽量化した μ PDCさらに携帯型PDCの開発の必要性も緊急性を持って待望されている。今後も新しい地盤調査法となるPDCのより有益な活用を模索し、より質の高い地盤調査技術を提供し続けていきたい。

(参考文献)

- 1) Sawada, S. (2004) : Estimation of liquefaction potential using dynamic penetration with pore pressure transducer, International Conference on Cyclic Behavior of Soils and Liquefaction Phenomena, Bochum, 05-312.
- 2) 澤田俊一, 塚本良道, 石原研而 (2004) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その1 試験方法・装置—, 第39回地盤工学研究発表会, 新潟, 1927-1928.
- 3) 澤田俊一, 塚本良道, 石原研而 (2004) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その2 室内土層実験—, 土木学会第59回年次学術講演会, 愛知, 815-816.
- 4) 澤田俊一, 塚本良道, 石原研而 (2004) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その3 原位置実験—, 第49回地盤工学シンポジウム, 東京, 12-20.
- 5) 澤田俊一, 塚本良道, 石原研而 (2005) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その4 土質分類—, 第40回地盤工学研究発表会, 函館, 2235-2236.
- 6) 澤田俊一, 塚本良道, 石原研而 (2005) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その5 地下水位—, 土木学会第60回年次学術講演会, 愛知, 961-962.
- 7) 澤田俊一, 塚本良道, 石原研而 (2005) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その6 液状化強度—, 第50回地盤工学シンポジウム, 東京, 1-6.
- 8) 澤田俊一 (2006) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その7 間隙水圧の測定位置—, 第41回地盤工学研究発表会, 鹿児島, 153-154.
- 9) 澤田俊一 (2006) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その8 先端荷重—, 土木学会第61回年次学術講演会, 滋賀, 675-676.
- 10) 澤田俊一 (2007) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その9 液状化後の沈下量—, 土木学会第62回年次学術講演会, 広島, 451-452.
- 11) Sawada, S. (2007) : Evaluation of strength of soils against liquefaction using piezo drive cone, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Thessaloniki, Greece, Paper ID=1146.
- 12) 澤田俊一, 吉澤大造, 比留間誠之, 長瀬雅美, 菅野高弘, 中澤博志 (2008) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その10 不同沈下評価—, 第43回地盤工学研究発表会, 広島, 187-188.
- 13) 澤田俊一 (2009) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その11 空間的分解能の向上—, 土木学会第64回年次学術講演会, 福岡, 451-452.
- 14) Sawada, S. (2009) : Evaluation of differential settlement following liquefaction using Piezo Drive Cone, 17th International Conference on Geotechnical Engineering, Alexandria, Egypt, 1064-1067.
- 15) 澤田俊一, 菅野高弘, 中澤博志, 竹村淳一 (2010) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その12 滑走路下の液状化対策評価事例—, 土木学会第65回年次学術講演会, 札幌, 327-328.
- 16) 澤田俊一, 吉澤大造, 藤井紀之 (2011) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その13 地盤情報の相似性—, 第46回地盤工学研究発表会, 神戸, 107-108.
- 17) 澤田俊一 (2011) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その14 新しい地下水位設定法—, 土木学会第66回年次学術講演会, 愛媛, 717-718.
- 18) 澤田俊一 (2011) : ピエゾドライブコーン(液状化ポテンシャルサウンディング) —性能設計に向けた原位置試験—, 応用地質技術年報 No.30, 75-80.
- 19) Sawada, S. (2012) : Use of Piezo Drive Cone for evaluation of subsoil settlement induced by seismic liquefaction, Second International Conference on Performance-based Design Earthquake Geotechnical Engineering, Taormina, Italy, 15-25.
- 20) 澤田俊一, 吉澤大造, 藤井紀之, 植村一瑛, 伊藤亮太, 古田一郎 (2012) : ピエゾドライブコーン(液状化ポテンシャルサウンディング)の適用事例 —レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検—, 応用地質技術年報 No.31, 67-73.
- 21) 吉澤大造, 藤井紀之, 澤田俊一 (2011) : ピエゾドライブコーン(液状化ポテンシャルサウンディング), 平成24年度建設技術報告会, 北陸地方建設事業推進協議会, 115-118.
- 22) 信本実, 澤田俊一 (2012) : 液状化ポテンシャルサウンディング(PDC)の紹介, 第9回地盤工学会関東支部発表会 2012年10月, 防災6-3.
- 23) 信本実, 植村一瑛, 澤田俊一, 吉澤大造, 藤井紀之, 堀之内富夫 (2013) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その15 宅地の液状化評価を目的とした μ PDC—, 第48回地盤工学研究発表会, 富山, 2013年7月 353-354.
- 24) 藤井紀之, 東畑郁生, 槻矩大義, 澤田俊一, 吉澤大造, 信本実, 植村一瑛 (2013) : 間隙水圧測定を伴う動的貫入試験法—その16 過剰間隙水圧に着目したFCの推定—, 第48回地盤工学研究発表会, 富山, 2013年7月 355-356.
- 25) 国土交通省水管理・国土保全局治水課 (2012) : レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル.

SDS（スクリュードライバー サウンディング）試験による 液状化判定技術

すえなさ なおあき*
未政 直晃*

K
ey Word

宅地調査, スウェーデン式貫入試験, SDS 試験, 液状化判定

1 はじめに

2000年に住宅品質確保促進法が制定されて以降、新築戸建住宅の不同沈下等による瑕疵を防ぐことを目的に事前の宅地調査が行われるようになった。そして今では、瑕疵担保保険に加入する新築住宅のほとんどで宅地調査が行われている現状にある。さらに最近では、宅地調査の流行がリフォーム住宅にも及ぶようになったと聞いている。当然のことながら、古い既設住宅の場合には不同沈下の有無は現状調査で確認できるだろうが、今や地震時の宅地の液状化が既設住宅の耐震性能と同様に買主の関心事となっているようである。

宅地調査の主流はスウェーデン式サウンディング試験（SWS試験）である。軽トラックに搭載できて、狭い路地裏でも実施可能な試験機のコンパクトさと、半日で1軒4ヶ所の調査を行える迅速さがSWS試験の浸透の理由である。しかしながら、普及につれて利用者側の要求が徐々に高まってくると、SWS試験の欠点も指摘されるようになった。その一つであるロッドの周面摩擦は、少し深い位置にある軟弱層を見えにくくすることがあり、新築住宅に想定外の不同沈下を招いた事例も起こっている。また、液状化判定が期待されるようになると、SWS試験による土質判別の不確かさが課題となった。このような事情を背景にして、大和・未政らはスクリュードライバーサウンディング試験（以降、SDS試験）を開発した。

2 SDS 試験

（スクリュードライバーサウンディング）

SDS試験とは、SWS試験に用いているロッドとスクリュードポイント、自動試験機と同一のものを

用いて、異なる試験方法で実施する原位置試験のことである。写真-1にその試験機の概観を示す。このSDS試験機は、計測部材の一部を交換することによりSWS試験を行うことも可能であり、用途に応じて両試験を使い分けて実施することができる。

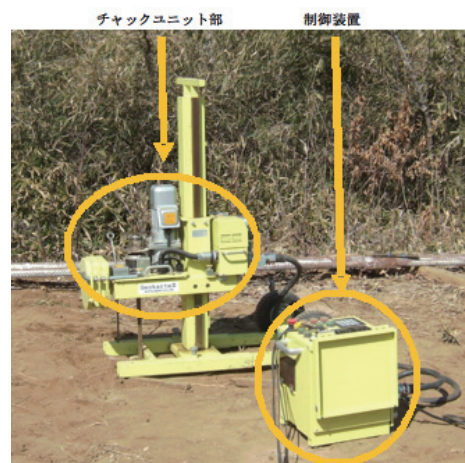


写真-1 SDS全自動試験機

次に試験方法を説明する。ここで図-1に試験概要を示す。まず、ロッドを25rpmの一定速度で常に回転させながら、ロッドに作用させる鉛直荷重をロッド1回転ごとに1ステップのタイミングで、250Nから1000Nまでを等間隔7段階で増加させる。その際、もしロッド貫入量が1計測区間である25cmを超えたならば、その荷重段階で荷重を一旦停止する。図-1は最終段階である1kNまで荷重を作用させた場合であるが、その時の貫入量が25cmに到達しない場合には1kNの荷重の下でロッドの回転による切削によって25cmまで回転貫入を継続する。いずれのケースでも25cm貫入が終了した直後に、荷重を取り除いてロッドを1cm引き上げ、

*東京都市大学 地盤環境工学研究室 教授

ロッドを回転させることによりロッド周面摩擦を測定する。摩擦測定後には再び 1cm 押し下げてから、次の計測区間の測定を開始する。計測項目は、各荷重段階における回転トルクと沈下速度であり、確認のための鉛直荷重と回転速度である。計測データは内蔵の記憶装置に収録され、試験中には内蔵プリンタによる紙媒体で、試験後には SD カードを介して出力される。

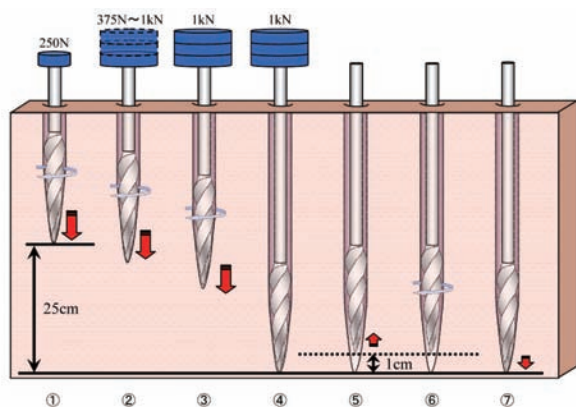


図-1 SDS 試験概要

測定されたロッド周面摩擦は、その時の計測区間において鉛直荷重と回転トルクのデータを補正するために用いられる。図-2にその補正方法を示す。ロッドの周面摩擦は、その時のロッドの回転速度と沈下速度から求まるロッド表面の速度ベクトルによって鉛直方向と回転方向のそれぞれに分配される。計測データからこれらの周面摩擦成分を差し引くことで、ロッド摩擦の影響を低減した“補正荷重”ならびに“補正トルク”を計算している。なお、この摩擦トルクにはスクリーポイントの最大径部分の摩擦トルク分も含まれているものの、その値に比べて深度が大きくなった時のロッド摩擦抵抗の方が十分に大きいため、本補正はロッド摩擦の影響の低減に役立っている。

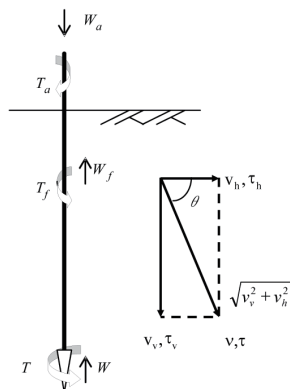


図-2 ロッド摩擦の除去

図-3は、計測された補正トルクの深度分布の例(埼玉・大宮台地と東京・沖積平野)である。図中には近傍で実施したボーリングで判定された土質分類を示している。また、図中の赤点は一つの荷重段階で計測されたトルクの補正值を表している。砂やロームのようなφ材は、鉛直荷重が増加するとその際の回転トルクが増加することから、補正トルクの深度分布は 25cm の計測区間ごとにギザを持つ形状となる。一方、粘土やシルトでは、鉛直荷重を増やしても回転トルクが増加しないため(地層によっては若干低下することもある)、その区間の深度分布は滑らかになる。このように、補正トルクの深度分布のテクスチャー(肌合い、ギザの程度)から、深度方向に地層の境目を見分けることが可能になるとともに、区分された地層がφ材であるか、c材であるかの大まかな予測をつけることができる。ただし、図からもわかるように、人工的な盛土と自然堆積ロームの違いを SDS 試験から読み取ることは難しい。人工的な盛土では、25cm 区間毎の応答にバラつきが大きいことが多いが、その判断方法の不確かさは拭えない。このように SDS 試験だけでは土質判別に不確かな部分があるものの、地層区分を行うことや典型的な砂や粘土を判別することは十分可能であると考えられる。

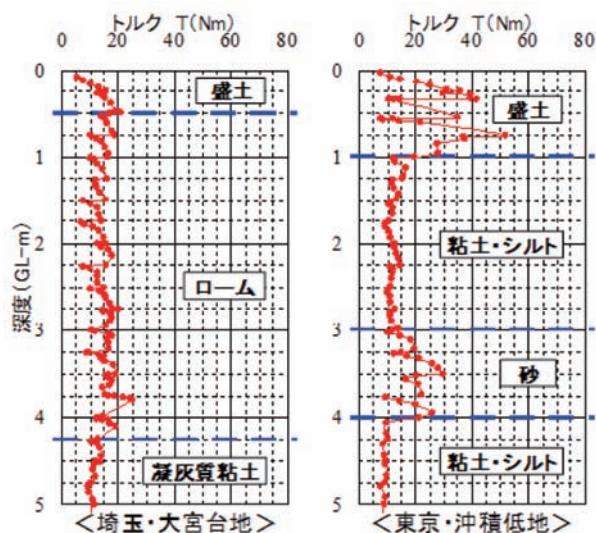


図-3 補正トルクの深度分布の例

3 SDS 試験による液状化判定

平成 24 年度からの 2 ヶ年に国土交通省建設技術研究開発費補助金の交付(代表者:基礎地盤コンサルタント 柳浦)を受けて、基礎地盤コンサルタント・ジャパンホームシールド・東京都市大学の連合チームで“SDS による宅地の液状化判定システム”を構築するべく、研究活動を行っている。

現在、データ収集・解析中であるため、液状化判定システムの最終的な結果の報告は別の機会に譲るとして、ここではこれまでの液状化予測の研究成果を例示する。

現在、SWS 試験と簡易サンプリングを用いて、宅盤の液状化判定が検討されている。即ち、SWS 試験による推定 N 値と簡易サンプリングから求めた Fc 値を既存の N 値による液状化判定式に組み入れる方法である。ここでは SDS 試験単独で N 値と Fc 値を推定する方法を提示したい。

荷重増加に伴うトルクの変動量によって、土質区分が可能であることは前章に記した。このように SDS 試験では、補正トルク、補正荷重、沈下速度、回転速度の4つのパラメータから、いくつかの変数が提案されている。まず、 dT/dWD は荷重増加に対するトルクの変動の割合を表したものであり、スクリューポイントの最大径 D で正規化されている。同様の変数に dT/dSt があるが、これは図-3のテクスチャー（ギザ）を数値化したものである。これには dT/dWD と比べて沈下しにくさが反映されるため、その地層の堅さの影響も加味されるが、いずれの値も主に地層の ϕ 材的傾向を示している。次に $E_{0.25}$ とは、25cm 貫入するのに要したスクリューポイントの仕事量のことであり、補正トルクに回転数を乗じたものと補正荷重に沈下量を乗じたものを 25cm 区間で積分した値である。ただし、1kN 載荷直後に 25cm 貫入に到達しない場合には図-4のように、1kN までの荷重ステップに対して求められた仕事量と沈下量との関係を指数関数で近似して、25cm 貫入時の仕事量 $E_{0.25}$ を外挿により求めている。また、その近似式の指数を c_{nl} と定義している。 $W_{0.25}$ は 25cm 到達時点の補正鉛直荷重、すなわち自沈荷重を表している。ただし、1kN 荷重を負荷しても 25cm 貫入されない時には、その後に回転貫入されるので正しい自沈荷重は求まらない。

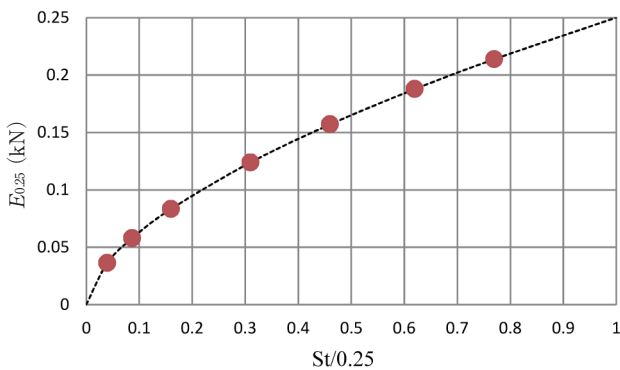


図-4 $E_{0.25}$ と沈下量の関係

そこで、この場合には $E_{0.25}$ と同様に 1kN までの各補正荷重と沈下量の関係を指数関数で近似して自沈荷重を求めている。

表-2に示すように、全国33ヶ所において表層から10m深度まで実施した各種試験結果（SDS, SPT, 各種土質試験）を用いて、N 値ならびに細粒分含有率 Fc を回帰分析により推定した。詳細は参考文献¹⁾に譲るとして、ここではその概要を記す。

表-2 SDS 試験地一覧

No.	測定場所	No.	測定場所
1	埼玉県川口市大字神戸	18	茨城県神栖市掘割
2	埼玉県春日部市新方袋	19	東京都小平市栄町
3	埼玉県さいたま市見沼区東大宮	20	千葉県浦安市
4	千葉県千葉市若葉区小倉町	21	群馬県伊勢崎市三室町
5	埼玉県さいたま市西区三橋	22	大阪府和泉市山荘町
6	埼玉県北葛飾郡杉戸町倉松	23	山形県山形市江南
7	千葉県市原市大厩	24	千葉県浦安市弁天
8	神奈川県横浜市鶴見区駒岡	25	埼玉県加須市北下新井
9	新潟県上越市春日新田	26	埼玉県坂戸市塚越
10	新潟県上越市大貫	27	茨城県神栖市深芝
11	愛知県清須市	28	愛知県名古屋市中川区高畑
12	群馬県高崎市筑縄町	29	愛知県名古屋守山区川西
13	愛知県半田市乙川中部	30	大阪府守口市八雲東町
14	愛知県愛西市北一色町西田面	31	新潟県長岡市曲新町
15	岡山県倉敷市福田字土手割	32	京都府舞鶴市
16	岡山県岡山市南区管根	33	北海道苫小牧市北栄町
17	茨城県潮来市日の出		

上記33ヶ所の N 値を目的変数として、各種変数 (dT/dWD , dT/dSt , $W_{0.25}$, $E_{0.25}$, c_{nl} を含む) を説明変数として、相関性を求めて多重共線性の問題を検討した後に、赤池の情報量基準を用いて変数を絞り込むことにより、いくつかの回帰式を決定した。以下に N 値の推定式を記すとともに、その回帰関係を図-5に示す。

$$\text{推定 N 値} = 17.52dT/dSt - 3.69c_{nl} + 3.30W_{0.25} + 3.43 \quad (1)$$

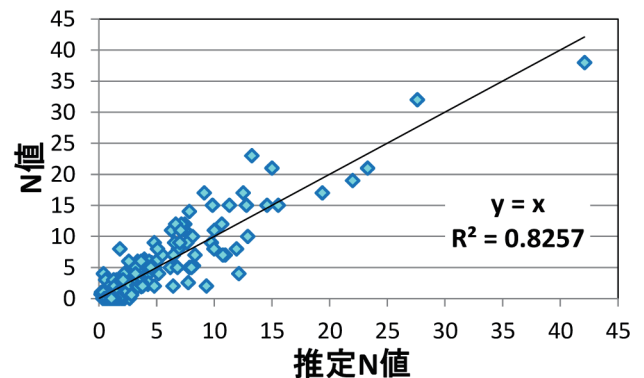


図-5 細粒分含有率の実測値と推定値の比較

図より、推定結果が N 値 15 以上の硬質な砂層の値に影響を受けている傾向も見られるが、推定式は自沈荷重である $W_{0.25}$ をベースに dT/dSt による土質判別結果を取り込む形となっていて、説明性の高い結果となった。なお SPT の N 値は一定エネ

ルギーの落下回数であり、30cm 貫入に必要な動的エネルギーを表していることから、同じく貫入エネルギーを表す $E_{0.25}$ も N 値推定には有力な変数である。この推定式においては、 $W_{0.25}$ との相関が非常に高いために多重共線性の関係から除外されている。

次に細粒分含有率の推定式を次式に示す。また、砂と粘土に区分した推定結果と実際の比較を図-6に示す。

$$\text{推定 } F_c \text{ 値} = 0.58dT/dWD - 0.16W_{0.25} + 6.82 \quad (2)$$

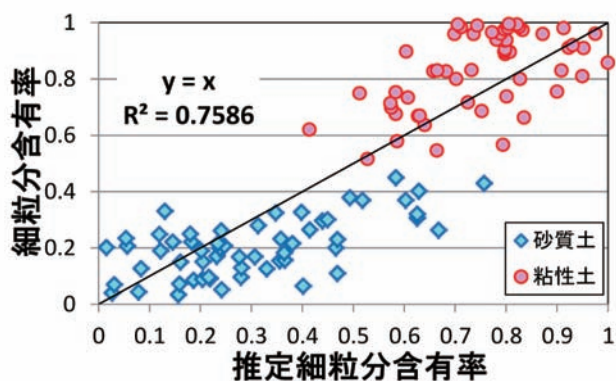


図-6 細粒分含有率の実測値と推定値の比較

これより、細粒分含有率は ϕ 材の指標である dT/dWD をベースにして、硬軟を表す指標である自沈荷重 $W_{0.25}$ で構成されている。図より、 F_c が 0.35 未満であると推定された結果は全て砂であることから、液状化判定における本推定式の有効性が指摘できる。宅盤の液状化予測において、危険側の推定結果を与える F_c 補正を行う必要があるのかという議論もあることから、この推定 F_c 値の利用方法にはさらなる検討が必要であると考えている。

4 おわりに

鹿児島県鹿児島市での調査結果に対して、式 (1) と (2) を用いた N 値および細粒分含有率の推定を試みた。図-7 に実測 N 値と推定 N 値の深度分布と、細粒分含有率の実測・推定結果を示す。これより、推定 N 値および推定細粒分含有率は共に実測値と同様の傾向を示していることが分かる。推定値には幾分ばらつきがみられるが、現地の 3m 以深はシルト質砂となっていて互層の可能性があり、SDS 試験と F_c の計測の実施位置のわずかな違いによってばらつきが生じた可能性が高い。N 値についても、ほぼ同様の傾向が推定されている。通常 1m 間隔の SPT と異なり、SDS 試験では深度方向 25cm 間隔でデータ

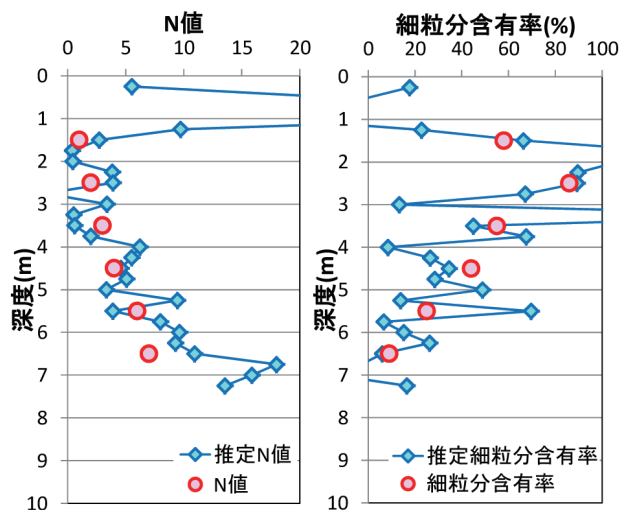


図-7 鹿児島市での適用例

が得られることにより、より詳細な地層構成が推定できるものの、SPT 主体で構築されてきた現行設計法への適用には検討が必要である。このような影響があるものの、本手法により算出した推定式を用いて N 値および細粒分含有率 F_c を推定できることが示されたと思う。

SDS 試験は、作用荷重を変動させてその応答を調べるものである。精度こそ低いものの、荷重を変えて実施した一連のせん断試験と同じレスポンスである。SDS 試験はこの点でサウンディングとしては稀な試験方法であると感じている。今回は、SDS 試験の最大の特徴である地層の ϕ 材傾向の検出能 (テクスチャー) を有効に使うことによって、地層判別が可能となったことを中心に紹介した。

(参考文献)

- 1) SDS 試験法による N 値および細粒分含有率の推定：池亀温子，大和真一，菅野安男，末政直晃，田中剛，第 47 回地盤工学研究発表会，2012

電気式コーン貫入試験による 液状化判定技術

よしむら みつぐ*
吉村 貢*

Key Word

液状化判定, サウンディング, CPT, 砂質土

1 はじめに

1964年に発生した新潟地震で、地盤から水と共に砂が噴出・流動し、建物が傾くという液状化現象の衝撃的な映像が公開された。この地震を契機に土の動的応答に関する研究が活発に行われ、いくつかの液状化判定法が提案された。標準的な地盤調査手法であるボーリング調査と、同時に行われる標準貫入試験（SPT）で得られる情報から地盤の液状化判定を行う方法が設計指針や基準に採用されている。一方、ボーリング調査に比べ、簡易で迅速性があるサウンディング調査の結果から液状化判定を行う方法も模索されている。すでに建築基礎構造設計指針では条件付きながら、コーン貫入試験（CPT）の結果を適用する方法が示されている。

本稿ではこれまでに提案されているCPTの結果から地盤の液状化判定を行う方法を紹介する。指針、基準等で用語に若干の違いがあるが本稿ではできるだけ統一して表記するので指針・基準等の記載と異なる点があることを予めお断りする。

表-1 液状化判定を規定する主な指針・基準等

設計指針・基準等の名称	パラメータ	類型	備考
道路橋示方書・同解説 V.耐震設計編	N値, 細粒分含有率FC	A	
建築基礎構造設計指針	①N値, 細粒分含有率FC	B	
同上	②先端抵抗 q_t , 周面摩擦 f_s	C	
港湾の施設の技術上の基準・同解説	N値, 粒度分布	D	
鉄道構造物等設計標準・同解説～耐震設計～	N値, 細粒分含有率FC, 50%粒径 D_{50}	A'	
危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示	①N値, 細粒分含有率FC	E	新法タンク
同上	②N値, 細粒分含有率FC, 50%粒径 D_{50}	A'	旧法タンク
下水道施設の耐震対策指針と解説	N値, 細粒分含有率FC	A	
河川堤防の液状化工法設計施工マニュアル(案)	N値, 細粒分含有率FC	A	
高圧ガス設備等耐震設計指針	N値, 細粒分含有率FC	A	
共同溝設計指針	N値, 細粒分含有率FC	A	
水道施設耐震工法指針・解説	N値, 細粒分含有率FC	B	

2 既往の設計指針・基準における液状化判定

現在、液状化判定を規定している主な指針・基準等は表-1の通りである。大きくは道路橋示方書の方式(類型A)と建築基礎構造設計指針の方式(類型B)に類型区分することができる。この2つの方法について液状化判定の手順を概観する。なお、2つの大区分以外に石油タンクなどの基礎に関する「限界N値法」、港湾施設には適用される「等価N値法」がある。

2.1 道路橋示方書・同解説 V.耐震設計編¹⁾

(1) 判定対象の土層条件

- ①地下水位が地表面から10m以浅にあり、かつ地表面から20m以浅に存在する飽和土層。
- ②細粒分含有率FCが35%以下の土層、またはFCが35%を超えても塑性指数Ipが15以下の土層。
- ③50%粒径 D_{50} が10mm以下、かつ10%粒径

*ソイルアンドロックエンジニアリング株式会社 技師長

D_{10} が 1mm 以下である土層。

(2) 判定方法

液状化抵抗率 F_L が 1 以下で液状化すると判定。

$$F_L = R / L$$

ここに、

R : 動的せん断強度比 (液状化抵抗比)

L : 地震時せん断応力比 (液状化応力比)

(3) 液状化抵抗

液状化に抵抗する動的せん断強度比 R は次の手順によって算定する。

$$R = c_w \cdot R_L$$

ここに、

c_w : 地震動の特性による補正係数で、レベル 1, レベル 2 のタイプ I, タイプ II, および R_L で決定する。

R_L : 繰返し三軸強度比

$$R_L = 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} \quad (N_a < 14)$$

$$= 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5} \quad (N_a \geq 14)$$

ここに、

N_a : 粒度の影響を考慮した N 値の補正值 (砂質土)

$$N_a = c_1 \cdot N_1 + c_2$$

ここに、

c_1, c_2 : 補正係数。

N_1 : 有効上載圧 100kN / m² 相当の換算 N 値

$$N_1 = 170 \cdot N / (\sigma_{vb}' + 70)$$

ここに、

N : 測定 N 値

σ_{vb}' : 標準貫入試験を実施した深さにおける有効上載圧 (kN / m²) (kPa)

$$c_1 = 1 \quad (0 \leq FC < 10\%)$$

$$= (FC + 40) / 50 \quad (10 \leq FC < 60\%)$$

$$= FC / 20 - 1 \quad (60 \leq FC)$$

$$c_2 = 0 \quad (0 \leq FC < 10\%)$$

$$= (FC - 10) / 18 \quad (10 \leq FC)$$

(れき質土)

$$N_a = \{1 - 0.36 \cdot \log_{10} (D_{50} / 2)\} \cdot N_1$$

(4) 液状化応力

液状化に関する外力である地震時せん断応力比 L の算定手順は以下の通りである。

$$L = r_d \cdot k_{hgL} \cdot \sigma_v / \sigma_{vb}'$$

ここに、

r_d : 深さ x (m) 方向の低減係数
 $= 1.0 - 0.015 \cdot x$

k_{hgL} : 地盤面の設計水平震度 $= c_z \cdot k_{hgL0}$

c_z : 想定地震タイプと地盤で決まる地域別補正係数

k_{hgL0} : 地盤種別と地震動で決まる地盤面の設計水平震度の標準値

σ_v : 深さ x (m) の全上載圧 (kPa)

σ_{vb}' : 深さ x (m) の有効上載圧 (kPa)

2.2 建築基礎構造設計指針²⁾

(1) 判定対象の土層条件

- ① 20m 程度以浅の沖積飽和土層。
- ② 細粒分含有率 FC が 35% 以下。ただし埋立あるいは盛土地盤では粘土分含有率が 10% 以下または塑性指数 I_p が 15% 以下。
- ③ 細粒土を含む礫、あるいは透水性が低い土層に囲まれた礫土層。

(2) 判定方法

液状化安全率 $F_L > 1$ なら液状化する可能性なし。
 $F_L \leq 1$ なら液状化する可能性あり。

$$F_L = \frac{\tau_1 / \sigma_v'}{\tau_d / \sigma_v'}$$

ここに、

τ_1 / σ_v' : 液状化抵抗比 (= R)

τ_d / σ_v' : 等価繰返しせん断応力比 (= L)

(3) 液状化抵抗比 R

液状化強度である液状化抵抗比 $R = \tau_1 / \sigma_z'$ は次の手順によって求める。

$$N_a = N_1 + \Delta N_f$$

ここに、

N_a : 補正 N 値

N_1 : 換算 N 値

ΔN_f : 細粒分含有率 FC による補正 N 値増分 (基本的に図から読取)

$$\Delta N_f = 0 \quad (0 \leq FC < 5\%)$$

$$= 1.2 \times (FC - 5) \quad (5 \leq FC < 10\%)$$

$$= 6 + 0.2 \times (FC - 10) \quad (10 \leq FC < 20\%)$$

$$= 8 + 0.1 \times (FC - 20) \quad (20 \leq FC)$$

$$N_1 = C_N \cdot N$$

ここに、

N : 実測 N 値

C_N : 拘束圧に関する換算係数

$$C_N = \sqrt{98 / \sigma_v'}$$

上記のようにして算定した N_a について図から

液状化抵抗比を読取る。(なお、礫質土に対しては50% 粒径 D_{50} により図から N 値補正係数を求める手順がある。)

細粒分含有率 FC が比較的高く、N 値の信頼性が低いと考えられる土に対しては N 値を用いた推定法に頼らず、たとえばコーン貫入試験を用いた推定法や不攪乱試料に対する室内試験から液状化抵抗を求める。

コーン貫入試験を用いた方法は以下の手順による。Robertson による土質分類指数 (土の挙動特性指標) I_c より、粒度 (土の挙動特性) に関する補正係数 $F(I_c)$ を図から求め、上述の拘束圧に関する補正項から、拘束圧と粒度の影響を補正したコーン貫入抵抗値 q_{cl} を算定して、図から液状化応力比 (抵抗比) R を求める。

$$q_{cl} = F(I_c) \cdot q_c \cdot C_N$$

$$I_c = \{(3.47 - \log_{10} Q_t)^2 + (\log_{10} F_R + 1.22)^2\}^{0.5}$$

ここに、

Q_t : 正規化コーン抵抗

$$Q_t = (q_c - \sigma_z) / \sigma_z'$$

F_R : 正規化摩擦比

$$F_R = f_s / (q_c - \sigma_z) \times 100$$

以上で、 q_c : 実測コーン貫入抵抗 (kPa)

f_s : 実測周面摩擦抵抗 (kPa)

(4) 等価繰返しせん断応力比 L

地震外力に相当する等価繰返しせん断応力

$L = \tau_d / \sigma_v'$ は次式で求める。

$$\frac{\tau_d}{\sigma_v'} = r_n \frac{\alpha_{\max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} r_d$$

ここに、

r_n : 等価な繰返し回数に関する補正係数

$r_n = 0.1 (M-1)$, M は地震のマグニチュード

α_{\max} : 地表面における設計用最大加速度 (cm/s^2)

α_{\max} の推奨値

- ・ 損傷限界検討用 (レベル 1): $150 \sim 200 \text{cm/s}^2$

- ・ 終局限界検討用 (レベル 2): 350cm/s^2

g : 重力加速度 ($=980 \text{cm/s}^2$)

2.3 試算

2つの方法についての試算を示す。モデル地は東日本大震災の際に著しい液状化被害を被った千葉県浦安市である。筆者らは平成 23 年 11 月に浦安市の埋立地で各種サウンディング調査の一斉試験を実施した。この時のデータを試算に用いる。

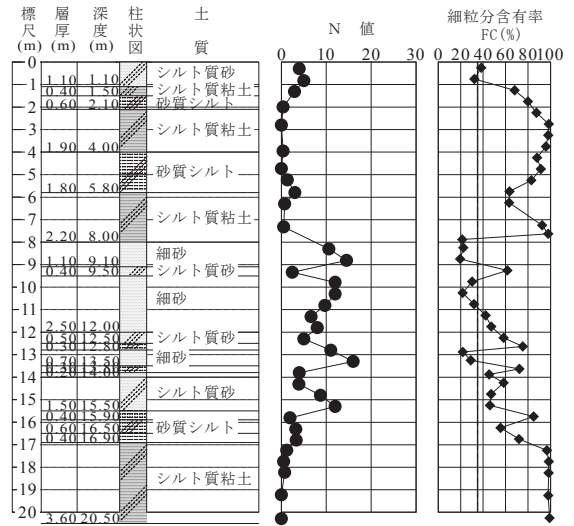


図-1 試算検討地盤

地盤の柱状図, N 値分布, 及び細粒分含有率を図-1 に示す。GL-8m に旧海底面があり、それより上は浚渫土の埋立土層である。GL-1m より上は覆土層で、この層の下面付近に地下水面がある。液状化の判定対象は GL-8m ~ 16.4m 付近の砂質土である。

東日本大震災で計測された浦安市 K-NET の加速度 174.6cm/s^2 から、設計用地表面最大水平加速度 $\alpha_{\max} = 180 \text{cm/s}^2$ のケースと、大地震相当の 350cm/s^2 のケースを検討する地震動とする。建築基礎構造設計指針の方法では、前者に実測の地震規模マグニチュード $M=9.0$ 、後者には推奨値 $M=7.5$ を適用する。道路橋示方書・同解説の方法に適用する設計震度としては、軟弱沖積層に相当する 3 種地盤のレベル 1 で $k_{hgL0} = 0.18$ 、レベル 2 のタイプ I で $k_{hgL0} = 0.40$ を適用する。後者は建築基礎設計の設計加速度 350cm/s^2 よりやや大きいがほとんど同じレベルと考えてよい。

図-2 に道路橋示方書・同解説に基づく液状化抵抗率の計算結果を示す。図は左から、土質柱状図、標準貫入試験の N 値の分布、2.1 節の手順で計算したせん断強度比 R およびせん断応力比 L 、液状化抵抗率 $F_L = R / L$ である。液状化抵抗率 F_L の図には $F_L \geq 1$ に網掛けしている。また判定領域である GL-8m ~ 16.4m を点線で区画し、マークを塗りつぶしている。図のようにせん断強度比 R の分布形状は N 値のそれと相似的である。

液状化抵抗率は $k_{hgL} = 0.40$ のケースが 0.18 のケースより小さく、大地震でより液状化しやすいことを示している。図中シルト~粘土層に相当する、白抜きで示した液状化判定の対象外の計算値も液状化抵抗率 F_L は 1 以下と算定されており、土質に

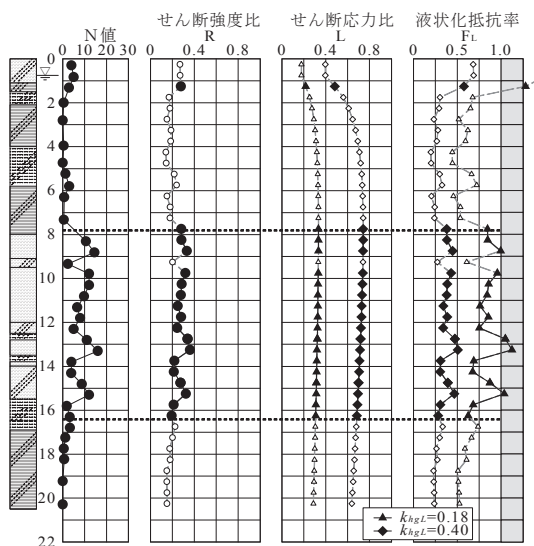


図-2 道路橋示方書の方法による液状化判定計算

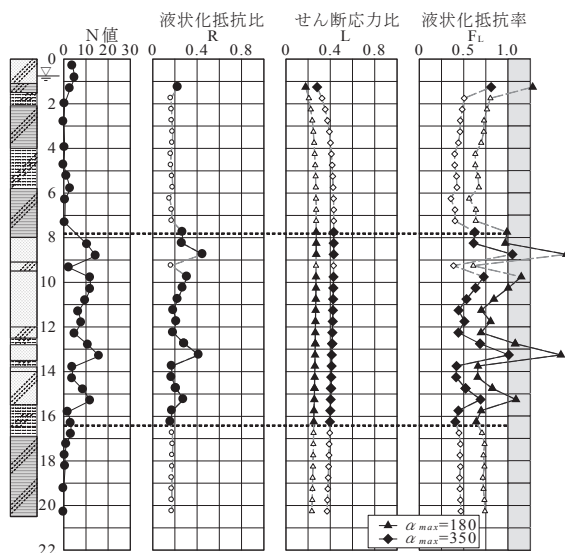


図-3 建築基礎構造設計指針の方法によるN値に基づく液状化判定計算

よる区分が重要であることが分かる。

液状化によって上部の構造物や地中構造物に被害を及ぼす地盤災害を評価するために用いられる、次式で与えられる液状化指数 P_L は $k_{hgL0}=0.18$ のケースで 4.88, $k_{hgL0}=0.40$ のケースで 22.30 である。

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot w(z) dz$$

ここで、 F は $F_L \leq 1$ の時の $1-F_L$ 、重み関数 w は地表面からの深さ z について $w(z) = 10 \cdot 0.5 \cdot z$ である。既往の研究では、 P_L 値が 15 を超えると構造物被害が生じるとされている。モデル地である千葉県浦安市の海岸に近い埋立地では東日本大震災の際に著しい液状化が生じており、 $k_{hgL0}=0.18$, $M=9.0$ の条件での $P_L=4.88$ は過小であるように思われる。地震加速度が測定された浦安市の非埋立地より、モデル地の地表面最大水平加速度 α_{max} は大きかった可能性が考えられる。

さて、次に建築基礎構造設計指針の方法による標準貫入試験 (SPT) の N 値に基づく液状化判定計算結果を図-3 に示す。図の並びは図-2 と基本的に同じである。

建築基礎構造設計指針による方法も、液状化抵抗比 R の分布形状は N 値のそれに近似である点を含め、道路橋示方書の方法とほぼ同等である。道路橋示方書による方法で、大地震相当を $k_{hgL}=0.40$, 水平加速度にして 392 cm/s^2 に対して建築基礎構造設計の 350 cm/s^2 の差の分だけ P_L に違いがある。建築基礎構造設計指針の N 値による方法で、 $\alpha_{max}=180 \text{ cm/s}^2$ では $P_L=5.14$, $\alpha_{max}=350 \text{ cm/s}^2$ では 14.42 となっている。

建築基礎構造設計指針の、コーン貫入試験 (CPT) の結果を液状化判定に用いる方法での計算結果を図-4 に示す。CPT ではおよそ 2cm 間隔でコーン抵抗 q_c が得られるため SPT より詳細な情報が得られる。

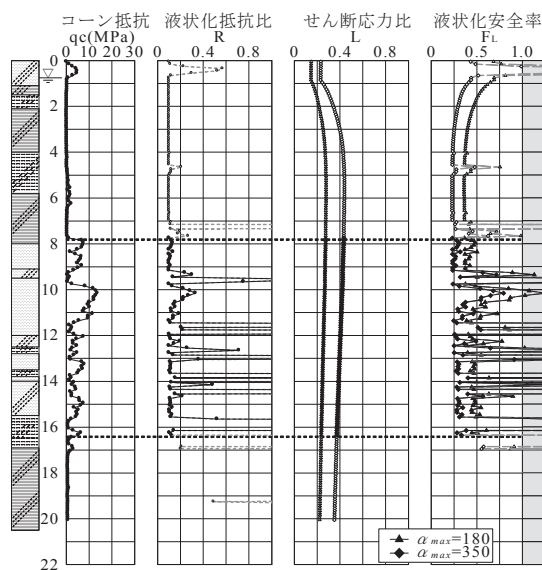


図-4 建築基礎構造設計指針の方法による CPT に基づく液状化判定計算

GL-8m ~ 16.4m の対象土層中にあるシルトや粘土層では液状化抵抗比が大きく、結果として液状化安全率が 1 を超えていることが明らかに認められる。液状化指数 P_L は $\alpha_{max}=180 \text{ cm/s}^2$ のケースで 10.71, $\alpha_{max}=350 \text{ cm/s}^2$ のケースで 14.31 となった。後者は SPT の N 値による方法とほぼ同じであるが前者は倍となっている。図からの読み取りの影響が残っている可能性がある。

3 コーン貫入試験結果を適用する液状化判定

図-4に示したように、判定にCPTデータを適用すると地盤中の詳細な土層構成を反映した液状化判定が得られる。また、SPTに比べ迅速性やコスト面で有利であるため、液状化判定にCPTを含めたサウンディング方法を適用することが検討されている。

CPTデータの適用方法としては、荷重項である液状化応力比 L を既往の方法で計算した上で、

- ① コーン貫入抵抗をN値に換算して既往の方法を適用する、
(換算N値, 道路橋示方書・同解説),
(換算N値, 建築基礎構造設計指針),
- ② CPTデータを他の値に換算して検討する方法, (換算Dr値),
- ③ CPTデータから液状化抵抗比 R を直接算定する方法, (等価コーン貫入抵抗),
- ④ 荷重項をコーン貫入抵抗のレベル, 基準化コーン貫入抵抗に換算して適用する方法, (限界コーン貫入抵抗),

がある。これらに適用する液状化応力比 L の計算方法は①の1例を除き、設計最大水平加速度 α_{max} を用いている。また、試料が得られないCPTの結果から土層構成の区分を行うために、2.2節に示したRobertson³⁾による土質分類指数 I_c が適用されている。本稿では④を取り上げない。他書を参考にされたい(たとえば⁴⁾)。

3.1 換算N値を用いる方法

鈴木ら⁵⁾はCPTで得られた先端抵抗 q_t をN値に換算する下式を提案している。

$$N_c = 0.341 \cdot I_c^{1.94} (q_t - 0.2)^{(1.34 - 0.0927 \cdot I_c)}$$

ここに、

N_c : 換算N値

また、試料が得られないCPTデータから細粒分含有率 FC を求めるために、下式を提案している。

$$FC = I_c^{4.2}$$

換算N値、および細粒分含有率 FC を用いて、道路橋示方書・同解説の方法による液状化判定計算結果を図-5に、建築基礎構造設計指針の方法による結果を図-6に順に示す。なお、図-5には実測N値と換算N値、図-6には試料の細粒分含有率 FC と推定 FC を比較している。

図-5に比較したように実測N値と換算N値は比較的よく一致している。図-6に比較した細粒分含有率 FC は推定値の変動が大きい、おおむね一致している。

これら換算値と推定値を2.1節、及び2.2節の判

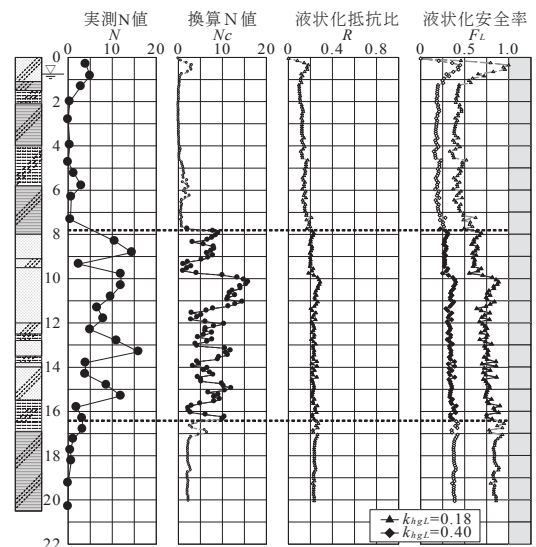


図-5 CPTデータから求めた換算N値を適用した液状化判定結果 [道路橋示方書]

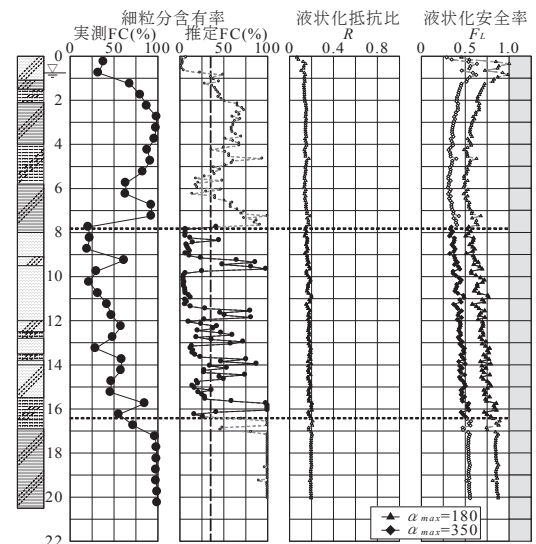


図-6 CPTデータから求めた換算N値を適用した液状化判定結果 [建築基礎構造設計指針]

定方法に適用して、せん断強度比(あるいは液状化抵抗比) R を求める。これとそれぞれの手順で求めたせん断応力比 L から安全率を算定する。

液状化指標 P_L は、CPTを道路橋示方書に適用した場合、 $k_{hgL}=0.18$ のケースで7.20、 $k_{hgL}=0.40$ のケースで22.15である。建築基礎構造設計指針の方法に適用した場合、 $\alpha_{max}=180\text{cm/s}^2$ のケースで8.01、 $\alpha_{max}=350\text{cm/s}^2$ のケースで17.33であり、実測値を用いたケースとおおむね一致している。

3.2 換算Dr法

TokimatsuとYoshimi⁶⁾は凍結砂の室内繰返し試験結果に基づいて、相対密度 D_r と液状化強度比 R の関係式を下式のように報告している。

$$R = 0.45 \cdot \{D_r / 100 + (D_r / 84)^{14}\}$$

一方、室内土槽に相対密度を変化させて数種類

の砂を詰めて模擬地盤を作成し、拘束圧を作用させた状態でコーン貫入試験を実施している。この結果からコーン先端抵抗 q_t と相対密度 D_r の関係を下式のように求めている。

$$D_r = -98 + 66 \cdot \log_{10} \frac{(q_t/9.8)}{\sqrt{\sigma'_{v0}/9.8}}$$

荷重項である繰返し応力比 L を建築基礎構造設計指針の方法によって算定し、安全率を求めた結果を図-7に示す。図-5, 6に比べ液状化安全率の変化は大きい。しかし、液状化指標 P_L は $\alpha_{max}=180\text{cm/s}^2$ のケースで 10.0, 同 350cm/s^2 のケースで 17.02 と、換算 N 値による建築基礎構造設計指針の場合とほぼ同等である。

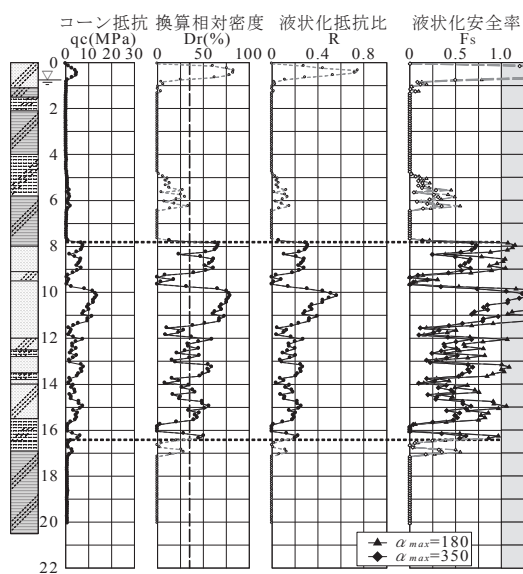


図-7 換算 D_r 値による方法

3.3 等価コーン貫入抵抗

Robertson⁷⁾ は液状化抵抗比 R を下式のように表している。

$$R = 93 \cdot \left\{ (Q_{tn}) \text{ cs} / 1000 \right\}^3 + 0.08$$

$$50 \leq (Q_{tn}) \text{ cs} < 160$$

$$= 0.833 \cdot \left\{ (Q_{tn}) \text{ cs} / 1000 \right\} + 0.05$$

$$(Q_{tn}) \text{ cs} < 50$$

ここに、

$(Q_{tn}) \text{ cs}$: 等価コーン貫入抵抗 = $K_c \times Q_{tn}$

K_c : 粒度特性補正係数

$$K_c = 1.0 \quad I_c \leq 1.64$$

$$= -0.403 \cdot I_c^4 + 5.581 \cdot I_c^3 - 21.63 \cdot I_c^2 + 33.75 \cdot I_c - 17.88 \quad I_c > 1.64$$

I_c : 土質分類指数

$$I_c = \left\{ (3.47 - \log_{10} Q_{tn})^2 + (\log_{10} F + 1.22)^2 \right\}^{0.5}$$

Q_{tn} : 正規化コーン貫入抵抗

$$Q_{tn} = \left\{ (q_t - \sigma_v) / Pa \right\} \left(Pa / \sigma'_v \right)^n$$

Pa : 大気圧 (=100kPa)

n : 応力指数

$$n = 0.381 \cdot I_c + 0.05 \left(\sigma'_v / Pa \right) - 0.15$$

F : 正規化摩擦比 = $f_s / (q_t - \sigma_v) \times 100$

これに対する荷重項、繰返し応力比は建築基礎構造設計指針の算定式を適用する。得られた液状化安全率の計算結果を図-8に示す。Robertson⁷⁾の方法では表面加速度の差ほど液状化安全率の違いが認められない。これは、それぞれ地震規模マグニチュードを 9.0, 7.5 としていることが反映されたものと考えられる。

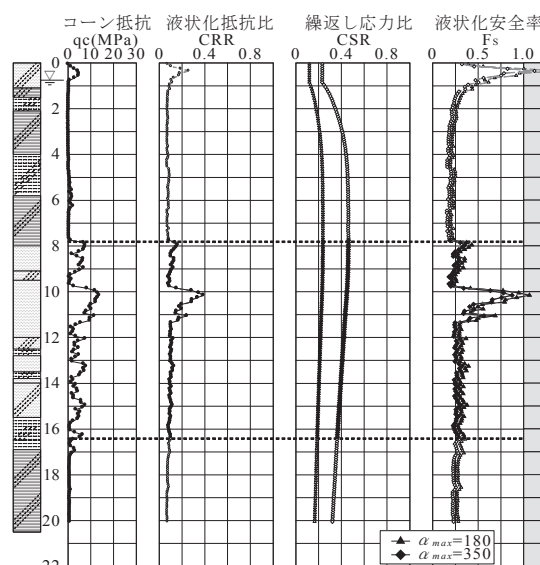


図-8 等価コーン貫入抵抗による方法

4 まとめ

液状化判定方法によって得られる結果が少し異なることが試算で示された。判定法にはまだ検討すべき点が残されている。

〈参考文献〉

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，318p., 2012.
- 2) (社)日本建築学会編：建築基礎構造設計指針，486p., 2001.
- 3) Robertson, P. K.: Soil Classification Using the Cone Penetration Test, Canadian Geotechnical Journal, Vol.27, No.1, pp.151 ~ 158, 1990.
- 4) 三村 衛・吉村 貢：講座「室内試験・原位置試験結果の設計への反映」6. 原位置試験による液状化評価，地盤工学会誌 Vol.61, No.8, 65-72
- 5) 鈴木康嗣・時松孝次・實松俊明：コーン貫入試験結果と標準貫入試験結果から得られた地盤特性との関係，日本建築学会構造系論文集，第 566 号，73-80, 2003.
- 6) Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y.: Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-Value and Fines Content, Soils and Foundations, Vol.23, No.4, pp.56-74, 1983.
- 7) Robertson, P. K. Performance based earthquake design using the CPT. keynote lecture, IS-Tokyo, 2009.

拘束効果を考慮した 液状化対策技術

みき ひろし*1
三木 博史*1
さとう けんじ*5
佐藤 謙司*5

おおこうち やすひこ*2
大河内 保彦*2
あさぬま たけお*6
浅沼 丈夫*6

まきの まさみ*3
牧野 昌己*3
こばやし こうじ*7
小林 浩二*7

おがた けんじ*4
緒方 健治*4
おおばやし あつし*8
大林 淳*8

K
ey Word

格子状地盤改良, 改良体による地盤の拘束効果, 液状化対策, 軟弱地盤対策,
遠心模型実験, 三次元動的有効応力 FEM 解析, 性能設計

1 CGI 工法とは

地盤中に改良体を構築する地盤改良において、改良体の構築によって得られる地盤変形の拘束効果を設計に取り入れたクリエイティブな地盤改良を CGI 工法 (Creative Ground Improvement の略称) と呼ぶ。

地盤中に改良体を構築した「改良地盤」に種々の作用が加わると、未改良の地盤が改良体によって拘束され自由に變形できないために、その反力によって未改良の地盤の強度・剛性が増加し、「改良体による地盤の拘束効果」が生じる。

この拘束効果は、改良体自体と未改良の地盤の強度・変形特性、改良体の形状・配置等に大きく左右される。一般的には、改良体が土中壁として一体化した格子状あるいは中空円状改良の方が、改良体が個々に独立して一体化されていない柱状改良より拘束効果が大きい。そこで、全面柱状改良の長所である高い沈下抑制効果を生かしつつ、「改良体による地盤の拘束効果」を発揮させる工夫を加えることにより、より小さな改良率で全面柱状改良と同等の沈下抑制効果とより高い変形抑止効果を達成するというのが CGI 工法の開発のねらいである。言い換えれば、改良体によって未改良の地盤を囲い込んで味方につける技術を目指している。

そのことを遠心模型実験や現場試験施工と解析的検討を通じて実証しつつ、より経済的で合理的な地盤改良の設計・施工法を提案している。といっても、従来の設計法と大きく変わるものではなく、「改良体による地盤の拘束効果」を適切に評価して、効果的な改良体の形状、配置等を決定するための工夫を加えたものといえる。

さらに、従来の格子状地盤改良による液状化対策

においては、地盤の各層で液状化を生じさせないことを設計の基本方針としてきたが、改良体による地盤の拘束効果を適切に評価することで、部分的に液状化は生じていても、構造物系全体として沈下・変形の許容値を満足するように、地盤中の改良体の格子間隔を広げる (改良率を下げる) ことが可能になる。

言い換えれば、構造物系全体としての沈下・変形の要求性能を満足するように、「改良体による地盤の拘束効果」を考慮した「性能設計」を行えば、現場ごとの要求水準と経済的な制約に応じた柔軟な格子状地盤改良による液状化対策が提案できる。それにより、十分に狭い格子間隔の対策 (100 点) か無対策 (0 点) かの選択しかない現状から、性能設計に基づいて格子間隔を広げた、その中間の解を選択できるようになる。

2 CGI サークルについて

「CGI サークル」とは、クリエイティブ地盤改良サークル日本 (英文名 Japan Circle of Creative Ground Improvement) の略称であり、株式会社三木地盤環境工学研究所、株式会社ノム、株式会社加藤建設、中日本高速道路株式会社、応用地質株式会社、東亜建設工業株式会社、日本工営株式会社および株式会社不動テトラの 8 社で構成されている。

平成 21 年 5 月 25 日に PCT 国際出願を行った特許「PCT/JP2009/059532 地盤改良工法」を基に、この技術の有効性の確認と設計・施工方法の確立を図り、そのマニュアルを作成することを目的として、平成 22 年度から活動している。本研究会は、将来的に、国内外の関係者を広く加えたオープンな成長型の組織を目指している。

*1 (株) 三木地盤環境工学研究所
*5 応用地質 (株)

*2 (株) ノム
*6 東亜建設工業 (株)

*3 (株) 加藤建設
*7 日本工営 (株)

*4 中日本高速道路 (株)
*8 (株) 不動テトラ

3 拘束効果とは

拘束効果を利用した液状化対策は、液状化が懸念される層に固化系地盤改良を施工し、液状化による被害を低減しようとするものである。

今までの固化系地盤改良は、改良域に対して、複合地盤強度のような、改良体の形状や配置を考慮しない考え方を、設計に適用してきた。

しかし、実際の改良地盤の挙動は、未改良地盤と改良体の相互作用で決まるため、地盤を変形させようとする外力と、それに抵抗する改良体の形状、配置によって大きく影響を受けるのは自明である。

特に液状化対策においては、地震力による水平せん断力に効果的に抵抗できるような改良体の形状、配置が求められ、これによって、未改良部のせん断変形が拘束されれば、あたかも未改良部の液状化抵抗が大きくなったような効果を及ぼすと考えられる。例えば、液状化地盤の模型実験で、剛土槽を用いた場合よりもせん断土槽を用いたほうが、液状化に達するエネルギーが小さいことを考えるとわかりやすい。

上記のような改良体による未改良部の変形を抑制するような効果を拘束効果と呼んでいる。

従来、柱状の改良が、格子状改良よりも液状化を抑制する効果が低いという実験事実等が得られているのも、このような拘束効果という観点から考えれば、当然と思える。

このような考え方からすると、格子状改良を例に考えると、未改良部の拘束効果は格子間隔が小さいほど大きいのは自明であるが、格子間隔が広がっても、拘束効果は消滅するわけではない。

また、格子状改良の上部に、構造物、盛土などの荷重がある場合は、液状化した地盤にその荷重が加えられ、地震波によるせん断変形に加え、別のモードの変形を生じさせようとする。この際、格子状改良は、未改良地盤が格子の外側へ変形しようとするのを拘束するため、未改良地盤に対して、沈下などの変形抑制効果が得られると期待される。

このような拘束効果を合理的に考慮し、液状化時の変形抑制効果を適切に考慮しようとするのが、拘束効果を利用した液状化対策である。

4 遠心模型実験による拘束効果の検証

液状化対策として、液状化地盤上の盛土や住宅その他の構造物の沈下や変形を有効に抑制するためには、未改良地盤の地震時の水平せん断変形、液状化によって未改良地盤が軟化した場合の構造

物荷重による変形の双方の変形が拘束されるような改良体形状、配置が望ましい。このような形状としては、円筒形の改良体が思いつぐが、例えば、既存の街区等に適用するのは困難である。

そこで、比較的施工しやすく、双方の効果が期待できる形状として、長方形の壁状で囲まれた形状の改良体を想定して遠心模型実験による改良効果の確認を実施した。

この改良形状は、格子状改良の一ブロックを取り出し、大型化したものと同様である。従来の知見では、液状化層厚の1/2～1/3程度の壁間隔にしないと、液状化抑制効果が低いとされているため、未改良部に液状化が生じると考えられるものの、拘束効果を考慮すると変形は有効に抑制されるという事を確認することが目的である。

写真-01に使用した遠心載荷装置を、写真-02には、加振装置を、写真-03にはせん断土槽を示す。表-01に、加振装置の諸元を示す。



写真-01 遠心載荷装置



写真-02 加振装置

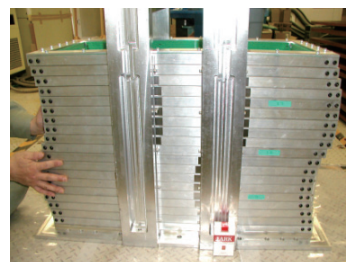


写真-03 せん断土槽

表-01 加振装置の諸元

項目	仕様
加振制御方式	電気油圧サーボコントロール
耐遠心加速度	100 G
最大加振加速度	25 G (1/60 模型で409gal)
最大搭載質量	250kg
最大振幅	±3.0mm
周波数	10 - 400Hz
最大速度	40 cm/s

図-01に、対策のイメージ図を示す。破線で囲まれた中を遠心模型で再現している。道路幅員6m、

8mそれぞれの道路で囲まれた3軒の戸建て住宅基礎をイメージしている。

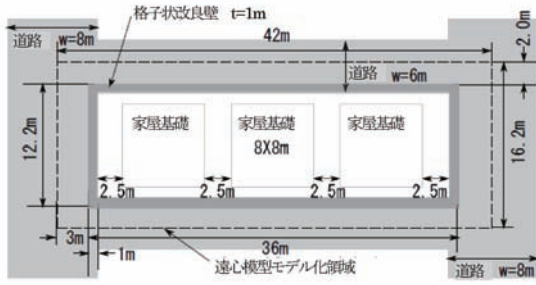


図-01 対策イメージ図

図-02に、遠心模型の立面図、平面図を示す。図内の寸法は、模型スケールである。遠心加速度は60Gで実施しているため、実大では、その60倍相当となる。ただし、家屋荷重は、沈下量を大きくして変形抑制効果の違いを明確にする目的で、実大スケールの接地圧100kN/m²相当とかなり大きな値となるような模型とした。

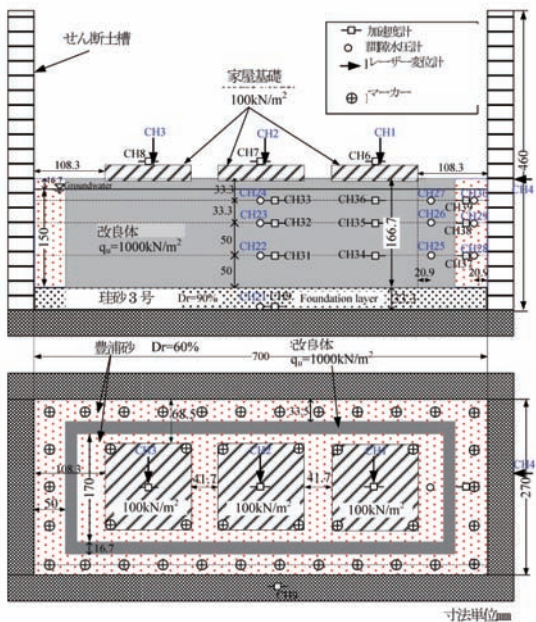


図-02 遠心模型立面図(上)、平面図(下)

液状化層は空中落下法で作成したDr=60%の豊浦砂とし、その下層部はDr=90%の珪砂3号としている。地下水位は実大スケールでG.L.-1m、間隙流体は、相似則を満足する粘性のシリコンオイルとし、事前に真空槽で飽和化を行った。

改良体は、目標一軸圧縮強さを1000kN/m²とした配合で、豊浦砂とセメントで混合し、1週間の養生後、所定の深度に設置した。その後、未改良部

に豊浦砂を空中落下させ、模型地盤を作成した。

表-03に実験ケースを示す。

表-03 実験ケース

Case	モデル
1	無対策 豊浦砂 Dr=60%
2	対策 深度 10m 格子状改良壁 D=10m
3	対策 深度 8m 格子状改良壁 D=8m

加振は、実スケールで1.5Hzの正弦波27波とし、100gal, 250gal, 400galの段階加振とした。それぞれの加振終了時には、過剰間隙水圧の消散を確認した上で、次の加振を実施した。

5 三次元動的有効応力FEM解析による検討

遠心模型実験結果をシミュレートするために、UWLC3Dによる解析を実施した。図-03にメッシュ図を示す。モデルの対称性を利用して、1/2モデルとしている。要素は20節点減退積分要素を用い、要素数1014、節点数5248である。

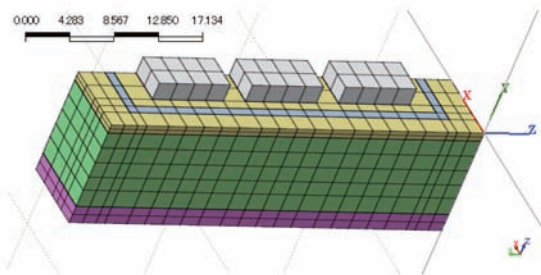


図-03 メッシュ図

UWLC3Dは、液状化を表現する構成モデルにPZ-sandを用いている。豊浦砂の入力パラメータを表-04に示す。

表-04 豊浦砂に用いたPZ-Sandパラメータ

γ_s (kN/m ³)	k (m/s)	M_r	M_g	C	α_r	α_g	K_{ev0}	G_{es0}	m_v
19.0	1×10^{-5}	0.35	1.05	1.0	0.18	0.18	110.0	134.0	0.5
m_s	β_0	β_1	H_0	H_{u0}	γ	γ_u	P_o (kN/m ²)	OCR	
0.5	3.8	0.175	900	9000	5.0	3.0	98	1.0	

改良体及び、珪砂3号は、Mohr-Coulomb弾塑性でモデル化し、模型基礎は弾性とした。

解析はそれぞれの加振加速度ごとに行い、完全非排水条件を基本として実施した。

6 実験結果及び解析結果

表-05に、加振終了後1Gに戻した後、地表面に設置したマーカーおよび模型基礎をレーザー距離計で測定した鉛直変位量のコンターを示す。

基礎模型の最大沈下量は、両対策ケースとも無対策の60%程度に抑制されている。

それ以上に注目すべき点は、改良壁周辺の道路部の隆起である。無対策では20cm以上、30cm近くの隆起が生じているが、対策では、両ケースとも最大10cm以下に抑制されている。

この結果は、対策によって、改良壁に囲まれた範囲の沈下抑制と併せて、改良壁周辺の隆起を抑制し、道路地中部の埋設管などのインフラの損傷をかなり低減できる可能性があることを示している。

表-05 加振終了後1G下で測定した鉛直変位

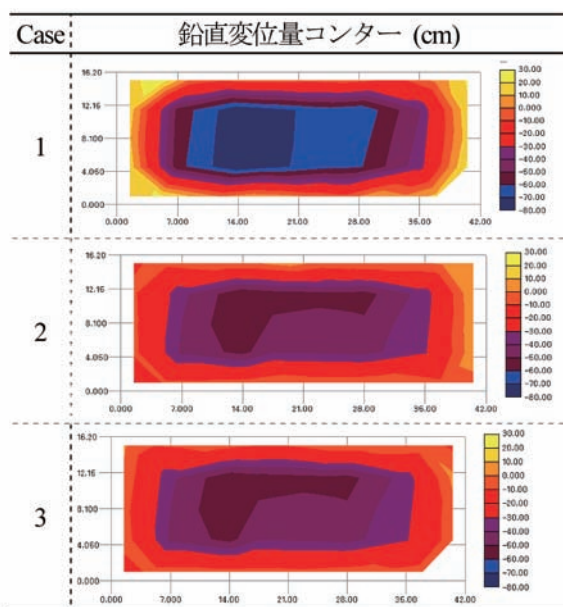


図-04, 05に、Case1, 3の変形図を示す。コンターは鉛直変位である。変形の様子は実験とよく似ており、対策による基礎沈下の抑制および、道路部の隆起抑制が表現できている。

表-06に、中央の模型基礎の鉛直変位に関して、実験結果と解析結果を示す。100galの場合は、解析の変位がやや小さめとなっているが、全体としては、比較的うまく鉛直変位を表現できている。したがって、UWLC3Dは、拘束効果を考慮した設計に適用可能であると考えられる。

なお、地下水面を設け、完全二相系とした解析

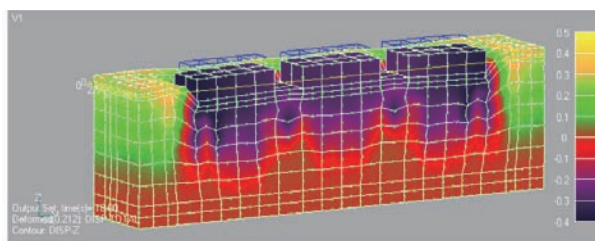


図-04 Case1 変形図 (コンターは鉛直変位 : m)

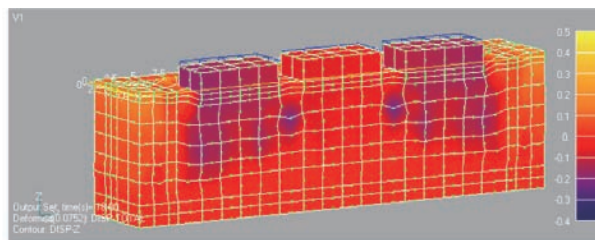
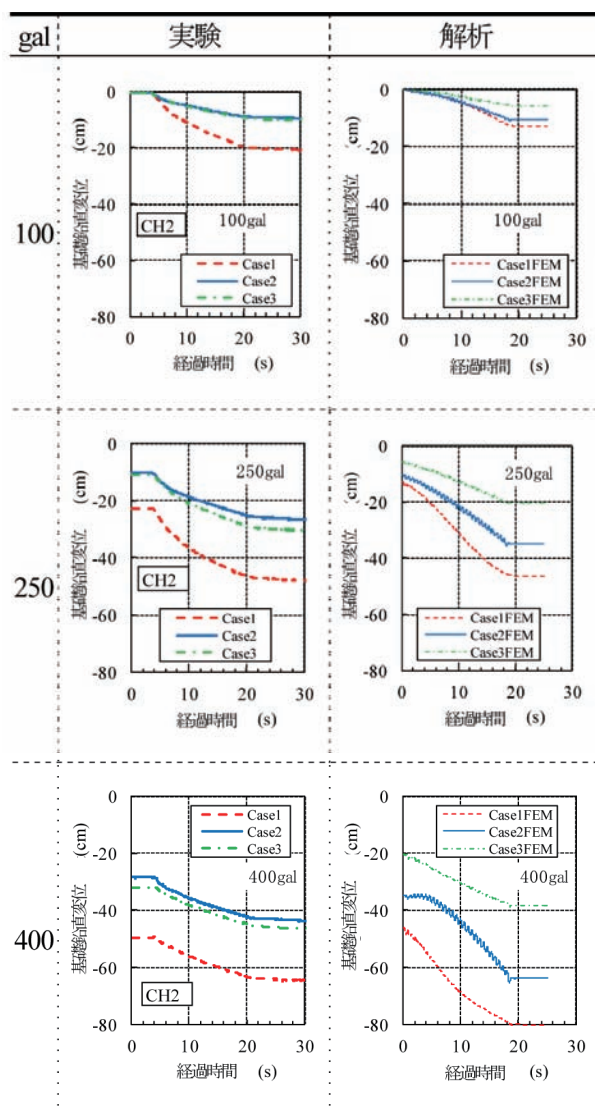


図-05 Case3 変形図 (コンターは鉛直変位 : m)

表-06 中央基礎の鉛直変位



も実施したが、結果にはそれほど大きな差がなく、完全非排水解析が安全側の値を与えること、計算

時間が二相系より大幅に短縮されることを考慮すると、実務設計には完全非排水解析を基本とするべきではないかと考えられた。

以上、実験と解析の双方から、変形抑制効果は、液状化層を全深度改良した場合と未改良層を2m残した場合で大きな差がなく、基礎の応答加速度は、未改良層を残した方がむしろ小さくなることが確認できた。

上記の結果を受け、シミュレーションであるが、格子間隔を約2倍と拡大した解析を実施した。図-06にメッシュ図を示す。ただし、この解析では、家屋基礎の荷重をやや小さめの35kN/m²としている。また、動的荷重は、1.5Hzの正弦波27波を、段階的に、100gal、250gal、400galと载荷した。各段階には、3秒程度の間隔を設けてあるが、完全非排水解析なので、加振されていない状況では鉛直変位は、ほとんど生じない。

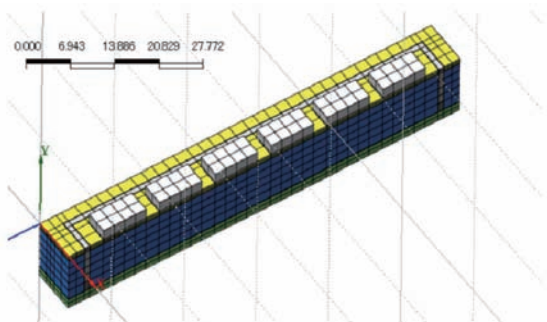


図-06 格子間隔を約2倍としたメッシュ図

図-07に解析結果を示す。100galでは、対策ケースが、やや不安定となっているが、全体として鉛直変位が有効に抑制されているのがわかる。

このように、格子間隔がかなり広がった状況で、格子内部の液状化が広範囲に生じると考えられる状況であっても、未改良部の変形が改良体によって有効に拘束されれば、かなりの変形抑制効果が得られることがわかる。

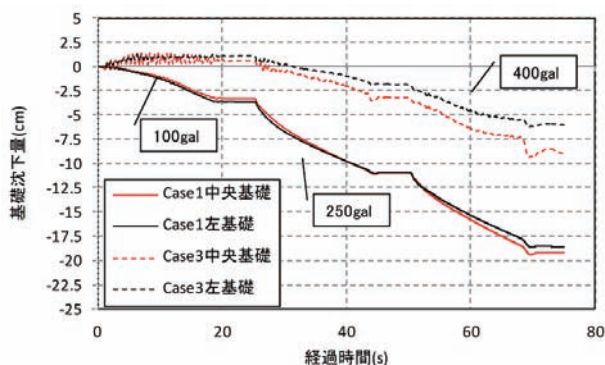


図-07 格子間隔を約2倍としたケースの鉛直変位

7 拘束効果を考慮した設計の基本方針

固化系地盤改良を、液状化時の変形抑制対策に適用する場合、改良体の形状や配置によって異なる未改良地盤の拘束効果を考慮することが重要であることは、遠心模型実験や三次元動的有効応力解析で明らかである。

ここでは、拘束効果を考慮した実務設計の基本方針について述べる。

拘束効果を評価した実務設計には、要求性能として変位量を設計指標値とすることが適正であると考えられる。このため、変形照査が基本となるが、以下の二つの方法が想定される。

- ① 拘束効果を合理的に評価できる照査手法
- ② 従来の設計手法に見かけの物性値などで拘束効果を表現する照査手法

①には、試験盛土、大型模型実験、遠心模型実験等、相似則が比較的満足される実験手法がまず思いつくが、試験盛土では、動的载荷が困難である、模型実験では現地の地盤条件の再現が難しい等の制約がある。また、費用、実施期間等も制約となりがちである。

このため、実験結果を比較的良く再現できる三次元FEM等の数値解析手法を用いて実務設計を行うことが現実的な選択肢と言える。実際にUWLC3Dは、遠心模型実験の結果を比較的うまくシミュレートできている。同様に静的な変形問題でも土の強度・変形特性をうまく表現できる比較的高度な構成モデルを用いることが現実的と考えられる。

しかし、あらゆるケースで、上記のような三次元FEMによる解析を用いて実務設計を行うのは、むしろ現実的ではない。

このために想定されるのが②の方法で、変形照査であれば、比較的単純な構成式を用いた三次元ないし二次元のFEMを用いる方法、より簡略された方法としては、例えば設計指標値を、安全率とした円弧すべりなどの剛塑性の釣合法を用いつつ、拘束効果が安全率の増加に反映するように見かけの物性値を適切に評価するような方法が考えられる。

このような方法を適用する際には、事前に①の方法と、実務設計に適用する②の方法の比較を行い、安全側から②の方法に適用する見かけの物性値などの拘束効果のモデル化の手法を検討しておく必要があるのは言うまでもない。

図-08に設計手順のフローを示した。

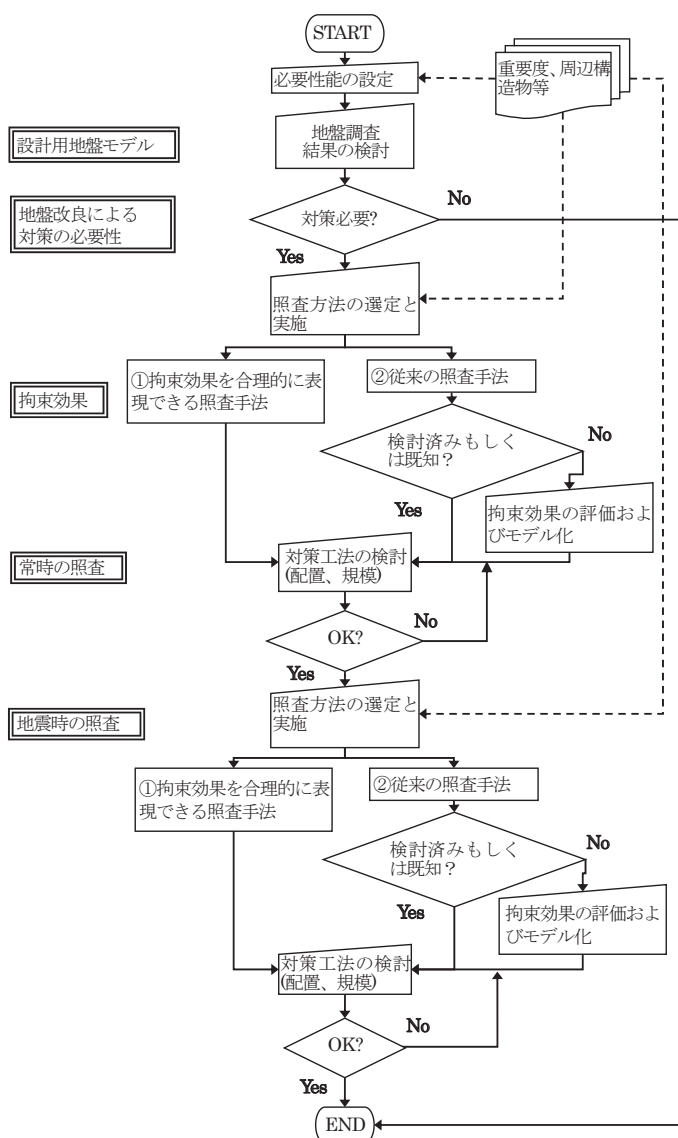


図-08 設計手順のフロー

8 今後の展望

現在、以上のような軟弱地盤対策や液状化対策を対象に、改良体による地盤の拘束効果を適切に評価して、効果的な改良体の形状や配置を決定する新しい設計法の調査、設計、施工、施工管理、維持管理に関する技術的事項を示した「CGI工法的设计・施工マニュアル」をまとめつつある。

また、インドとベトナムおよび韓国で開催された国際会議での発表や、NEXCO 中日本・敦賀工事事務所管内の舞鶴若狭自動車道での試験施工を実施してきている。

さらに、3.11以降は、「街路と宅地を一体的に行う液状化対策」への適用可能性を動的遠心模型実験により検証し、本文で報告したように、すでに効果の確認を終え、現在3次元FEM解析による設計法の開発を進めている。

そして、以上のような技術開発の成果を受けて、近い将来、国内における事業展開を図る組織として、別途、「CGI工法研究会」（現時点で7社により構成）を立ち上げている。

なお、特許（国際出願番号「PCT/JP2009/059532 地盤改良工法」）は、既に、日本、シンガポール、インドネシア、韓国、フィリピンにおいて特許査定済みであり、ベトナム、マレーシア、インド、スリランカ、ブラジルの査定を待っているところである。

こうした新しい技術が実際の現場で使われ、現場ごとにクリエイティブな設計・施工上の工夫がなされ、そうした知見の蓄積を通じて、さらに地盤改良が進化していくという好循環の形成に多少なりとも貢献できれば幸いである。

〈参考文献〉

- 1) Miki, H., Okochi, Y & Makino, M. (2011) : Evaluation of constraint effect of DMM with varied shape and arrangement of stabilized bodies using centrifuge model test, Proc. Indian Geotechnical Conference, Kochi
- 2) Miki, H., Okochi, Y & Makino, M. (2011) : Basic study for a new design concept of ground improve method evaluating constraint effect by the stabilized bodies, Proc. Geotec Hanoi 2011
- 3) Okochi, Y., Miki, H., SRENG, S., KOBAYASHI, K. & Makino, M. (2013) : Centrifugal model tests on the effect of a liquefaction countermeasure using enlarged spacing of the lattice shaped ground improvement method, Proc. International Geotechnical Symposium Incheon 2013
- 4) 一戸 200 万円以下の液状化対策一未改良土の拘束効果を見込んだ地盤の性能設計一、日経コンストラクション、2012年11月26日号、pp.52-55

戸建て住宅に対する 液状化技術

ふじい まもる*
藤井 衛

K
ey Word

液状化, 液状化対策, 戸建住宅, 不同沈下, 模型実験

1 はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災により、数多くの戸建住宅が液状化によって被害を受け、住宅業界の液状化に対する取組みの姿勢が社会から強く批判された。戸建住宅の液状化対策については、実は1988年に日本建築学会より発行された「小規模建築物基礎設計の手引き」¹⁾に紹介されていることはあまり知られていない。確かに、これまで戸建住宅では液状化対策があまり積極的に採用されてこなかった。それには主に3つの理由があった。1つは、余計な費用をかけたくないというコストの問題である。2つ目は平成13年告示第1113号の第2「地盤の許容応力度を定める方法」の中で、「液状化の恐れのある地盤の場合には、建築物に有害な損傷、変形及び沈下が生じないことを確かめなければならない」とあるが、これは戸建住宅のような四号建築物に適用されるのかどうか不明瞭だった点である。他の1つは、消費者が購入しようとする土地に、わざわざ生産者が液状化するという情報を与えにくいという点である。しかし、現在では戸建住宅であっても告示第1113号の内容とは関係なく、液状化対策など地盤に対する建築物の安全性の検討は設計を行う建築士に委ねられているので、建築主と建築士がさまざまな面から相談して決めてゆくというスタンスが常識的と見なされつつある。また、地盤の情報公開に関してもこれからは積極的になされるであろうし、行政機関が所有している地盤調査データも一般の人々が容易に閲覧できるような時代に変わりつつある。本稿では、私見ではあるが、戸建住宅に対するこれからの液状化対策技術について述べてみたい。

2 液状化地域の居住性の被害実態調査

戸建住宅の液状化対策を考えるうえで、どの程度の費用を見込めばよいか重要なポイントとなる。筆者は研究室の大学院生とともに2012年の4月から5月にかけて、千葉県浦安市において液状化の被害があった戸建住宅99棟に対して居住者の意識アンケート調査を行った²⁾。検討項目は、①基礎・地盤に関する知識の有無、②地震時の状況、③構造被害、④性能・居住性、⑤意識調査の5項目とし、それぞれの項目ごとに4から11の質問をした。

①基礎・地盤に関する知識

基礎・地盤に関するアンケート調査の結果を図1に示す。住宅購入時に6割の住民が地盤に関心を持っており、約3割の住民が地盤や基礎に関する質問をしていることから、この地域の住民は地盤や基礎が重要であると認識していたことがわかる。また、約6割の住民が地震以前に液状化に関する知識を持っていた。住宅購入時における質問においても液状化現象について質問したという住民もいた。

②地震時の状況

地震時の状況は、図2に示すように、住民の多くが長い横揺れを感じており、外に逃げたくても揺れが激しく逃げられなかったという住民もいた。住宅の庭では噴砂が多くみられ、ゴミ袋20杯分の砂が噴出した住宅や40cmの高さまで砂が噴出した住宅もあった。また、塀の倒壊も発生しており、地震から一年以上経っても傾いている塀が多くみられた。住宅会社の地震後の対応も早く、電話をしたらす

*東海大学工学部建築学科 教授

ぐに対処してくれたという住宅会社も少なく
なかった。さらに、自主的に調査した住宅会
社も多かったようで、被害のある住宅でも
住宅会社に対する不満の声はあまりなかった。

③構造被害

図3に示すように、多くの住宅が液状化被害
により傾斜が発生している一方で、外壁亀裂
や基礎亀裂といった被害は少ないことがわか
る。また、多くの住民が傾斜の実測を行って
いることがわかる。

④機能・居住性

機能・居住性については図4に示すように、
多くの住民が吐き気やめまいを感じていたこ
とがわかる。なかには、一年近くひどいめま
いがしたという住民もいた。住宅については、
約5割の住宅がドアの建付け不良、約7割の
住宅がボールが自然に転がる、約3割の住宅
が気密性の損失といった被害が発生しており、
液状化によって居住性に大きな被害が発生し
ていることがわかる。

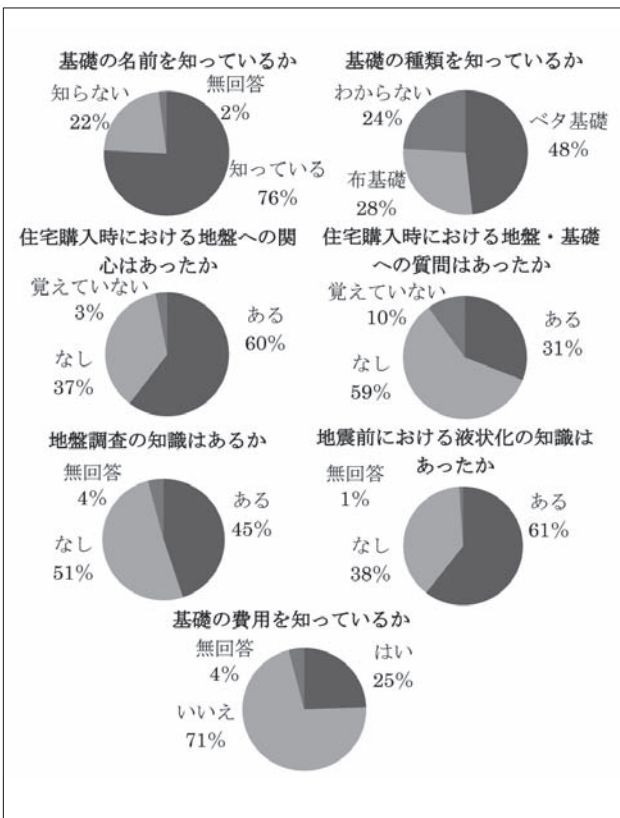


図1 基礎・地盤に関する知識

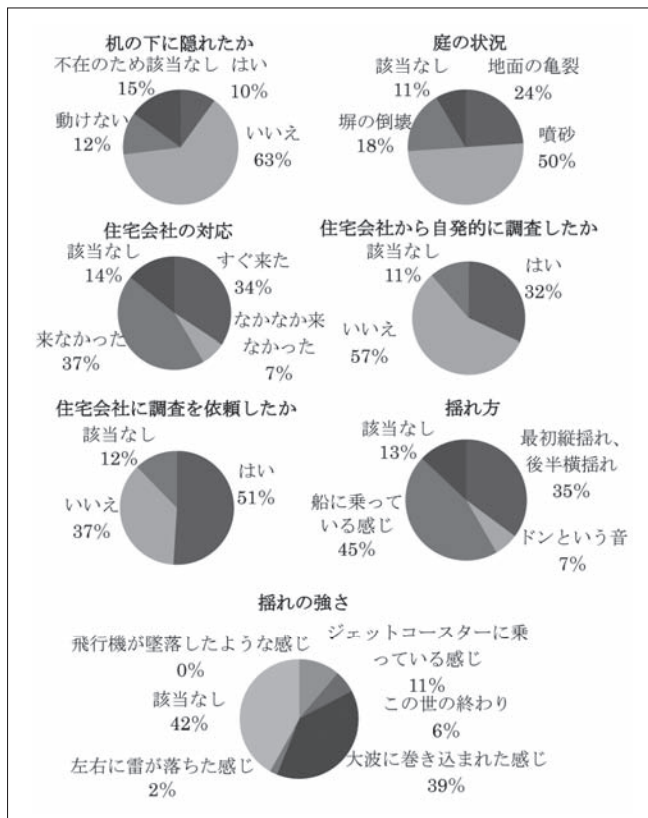


図2 地震時の状況

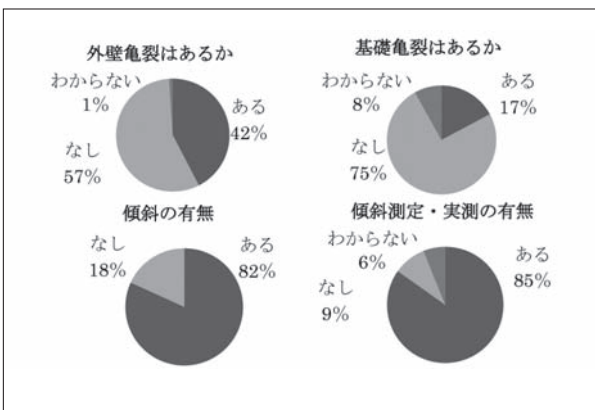


図3 構造被害

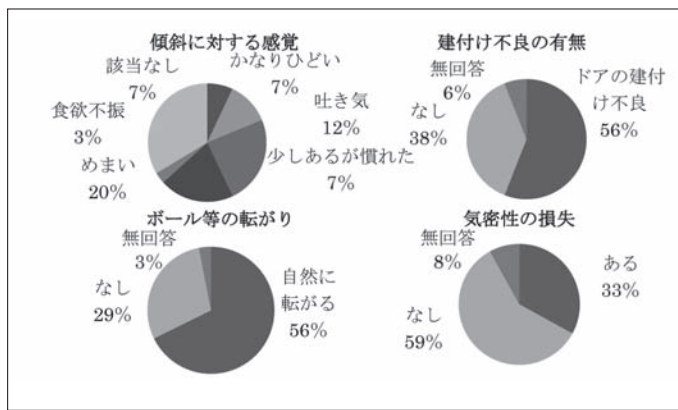


図4 機能・居住性

⑤意識調査

図5に意識調査の結果を示す。液状化の可能性について販売側は購入予定者に伝えることが必要かとの問いに対し、96%が必要と回答していることや建設コストがかかろうとも液状化防止は住宅全体の問題として考えるべきかとの問いに対し、89%がはいと答えるなど、今後は地盤の性能に関する補償を求める声が大半を占める。また、コストアップの許容範囲として、1割増しが39%、2割増しが32%、負担できる費用は200万円までが51%、500万円までが30%を占める。一般的には、200万円が許容できる限界額ではないかと考えられる。

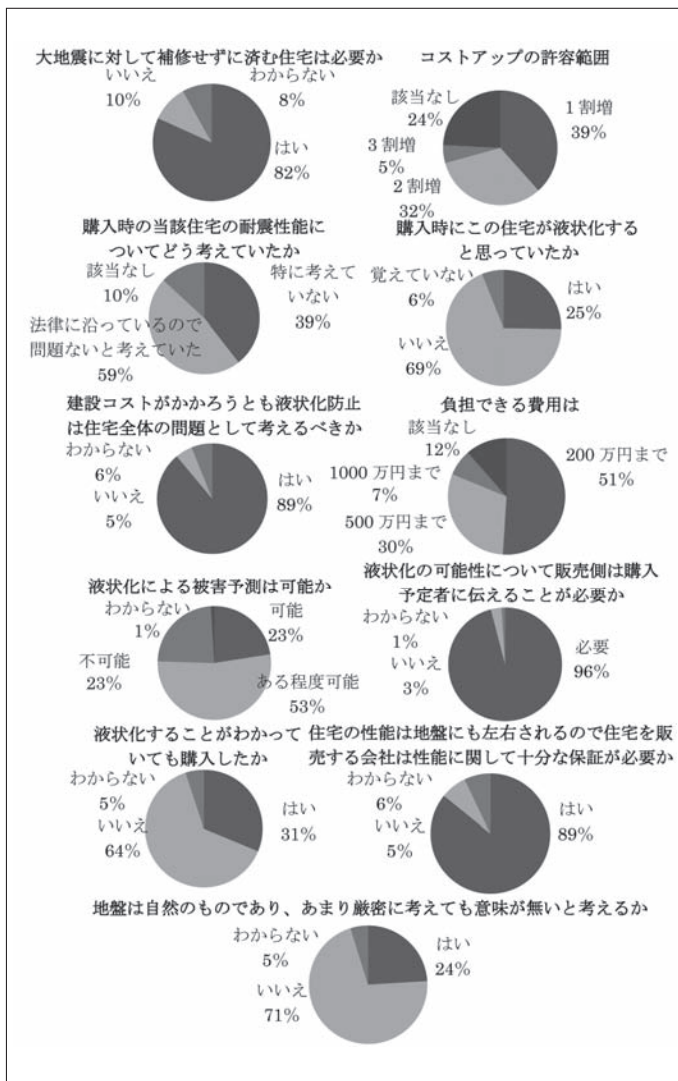


図5 意識調査

行った³⁾。対象とした基礎形式は、①無対策、②表層改良、③囲い壁（壁長5m）+表層改良、④囲い壁（壁長9m）+表層改良、⑤壁長5mの囲い壁、⑥壁長9mの囲い壁の6種類である。スケールは1/100である。表層改良は建物底部に厚さ10mmの亚克力板を取付けたもので、囲い壁とは建物の周辺を2mm離し、壁を設置したものである。実験条件を表1に示す。実験土槽と建物の概念を図6に示す。また、起震装置の全景を図7に示す。建物は80m²程度の木造2階建の戸建住宅を想定している。なお、地盤は単一の全層液状化層とし、相対密度40%を目標として作製した。建物の沈下状況を表2に示す。また、相対沈下量のもっとも少ない順位を表3に示す。この表3より、建物の外周を壁体で囲むと非常に効果があることがわかる。

表1 実験因子

実験因子	備考
縮尺	1/100モデル
地盤条件	豊浦砂、平均相対密度40%
入力波形	正弦波
加振条件(加速度)	①200gal, ②350gal
加振条件(振動数)	①10Hz, ②60Hz1

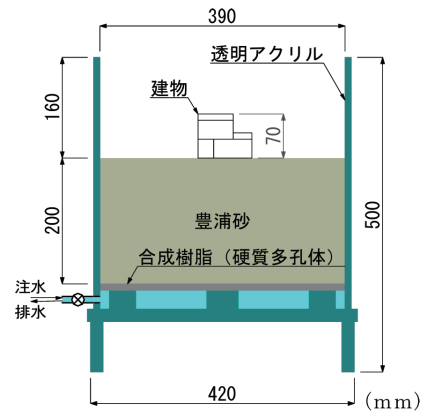


図6 実験土槽と建物

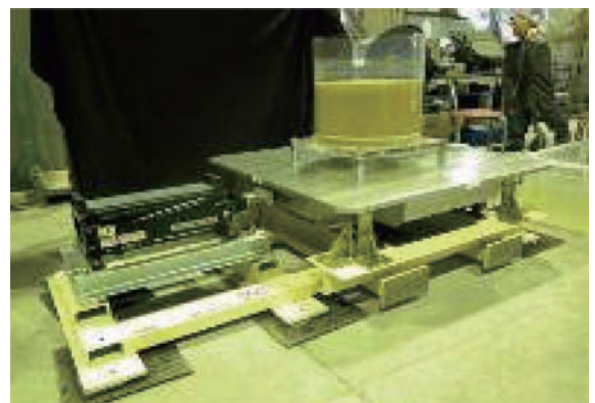


図7 起震装置の全景

3 液状化対策の模型実験

筆者は、本学の東海大学において2013年6月29日～7月13日の期間に液状化対策の模型実験を

表2 建物の沈下前・沈下後の状況

		無対策	表層改良	囲込み5m	囲込み9m	囲い込み壁+表層改良 5m	囲い込み壁+表層改良 9m
200gal 10Hz	加振前						
	加振後						
	最大傾斜角 (ラジアン)	1/7	1/11	1/5	1/98	1/18	1/121

表3 沈下の少ないものからの順位

順位	200gal 10Hz	200gal 60Hz	350gal 10Hz	350gal 60Hz	トータル順位
1	囲い込み壁+表層改良 9m	囲い込み壁+表層改良 9m	囲い込み壁+表層改良 9m	囲い込み壁+表層改良 9m	囲い込み壁+表層改良 9m
2	囲い込み壁 9m	囲い込み壁 9m	囲い込み壁+表層改良 5m	囲い込み壁+表層改良 5m	囲い込み壁+表層改良 5m
3	囲い込み壁+表層改良 5m	囲い込み壁 5m	囲い込み壁 5m	表層改良	囲い込み壁 9m
4	囲い込み壁 5m	囲い込み壁+表層改良 5m	囲い込み壁 9m	囲い込み壁 9m	囲い込み壁 5m
5	表層改良	無対策	表層改良	囲い込み壁 5m	表層改良
6	無対策	表層改良	無対策	無対策	無対策

4 常時の不同沈下と液化化による不同沈下

先述した3章の実験をよく観察すると、現象的には液化化によって上昇した水位が振動終了後、低下する際に建物が傾斜するように感じられた。これは、地盤沈下に伴う建物の不同沈下現象と非常に良く似ている。もし、この観察が正しければ、地盤の圧密沈下の場合には長期にわたって建物が傾斜するが、液化化の場合は瞬時に起きていることになる。したがって、不同沈下に対する抑制効果が期待できる基礎ほど、液化化に対しても有効ではないかと推察される。図8は、文献⁴⁾に示される不同沈下と地盤沈下の関係を示したものであ

る。横軸の総沈下量とは、主に地盤沈下量を示している。これによると、布基礎は全く地盤沈下に対する抑制効果はなく、抑制効果の順序としては、布基礎→べた基礎→表層地盤改良→柱状改良または杭基礎となる。ただし、この図8によると、杭には効果はみられない。これは、わずか3mの摩擦杭のためである。当然、この不同沈下は、建物の形状にも関係する。軟弱地盤では、建物の偏心量が大きいほど傾斜が大きくなることがわかっており、今回、東日本大震災で液化化の被害を受けた49棟の住宅のうち、地盤補強をしていない38棟の住宅について、図9に示すように1階と2階の図

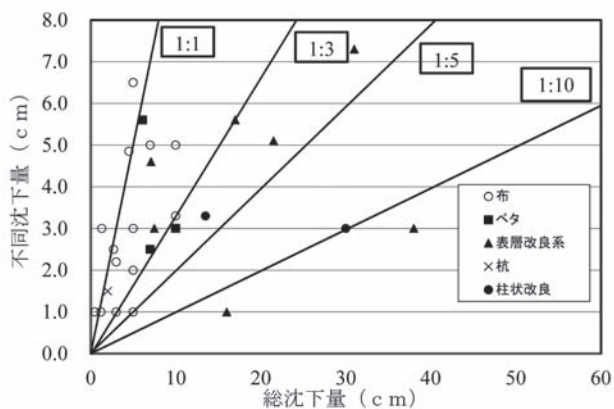


図8 不同沈下抑制効果

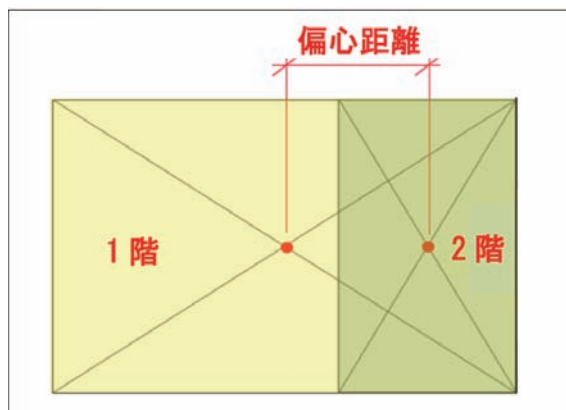


図9 偏心距離

心間の距離を偏心距離とし、これと傾斜角との関係を整理してみた。その結果を図10に示す。両者の関係はA, B, Cのおおよそ3つのグループに分けることができ、表4に示すような特徴が見られる。すなわち、2m以深の自沈層の存在が大きく関わっているようである。結局、軟弱な地盤ほど、建物の偏心量に比例して傾斜角が大きくなっており、これは全く通常の粘性土地盤と同じ現象である。図11は、東京都江戸川区清新町にある大規模ショッピングセンターの深層混合処理工法のコラム（柱状改良）の配置図である。本来、杭を設けるのであれば、深さ36mの深さに設置する必要があったが、建物自体はラーメンプレスの構造の2階建てで建物平均荷重度が 37kN/m^2 と比較的小さかったため、浮き基礎としてコラムを格子状に連続的に配置し、長さを7mに短縮した経済設計の一例である。図12は沈下計測結果であるが、ほぼ5年で建物の沈下は収束している⁵⁾。この建物は、東日本大震災により周辺地盤は液状化の被害を受けたが、この建物には全く被害はなかった。このように、この

建物は、本来不同沈下抑制効果を図った軟弱地盤対策工法であったが、結果的に液状化対策工法としても有効であったことを裏付けている。

5 液状化対策

文献⁶⁾の日本建築学会小規模指針には、液状化対策として図13に示す方法が記載されている。先にも述べたように、一般的に液状化対策としての費用は200万円程度が費用対効果の限界額ではないかと考えられる。戸建て住宅では、現実的に20m以深まで杭を設けることは容易ではないこと、及びこれまでの工法の実績や、不同沈下抑制効果の観点から鑑みれば、図13の矢板壁を柱状改良体に変えることが、個人的にはベストな対策ではないかと考えている。すなわち、長さ5m程度の柱状改良を格子状あるいは連続壁的に建物基礎直下に配置すればよい。図14は2種類の連続壁の費用の試算結果である。おおよそ、150万円～190万円となる。ただし、この場合、連続壁の支持力が十分であることを確認しておく必要がある。

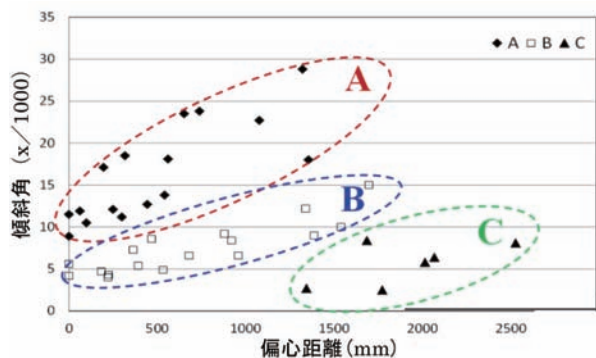


図10 傾斜角と偏心距離の関係

表4 各タイプの地盤状況

タイプ	地盤の状況
A	表層2m以深に自沈層が1m以上存在
B	表層2m以深に自沈層が1m未満存在
C	表層2m以深に自沈層が存在しない

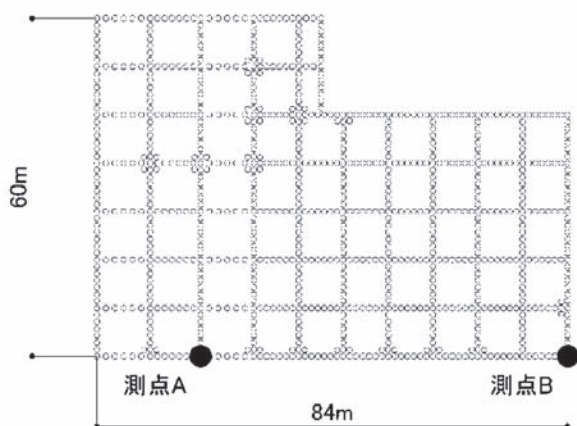


図11 柱状改良の配置図

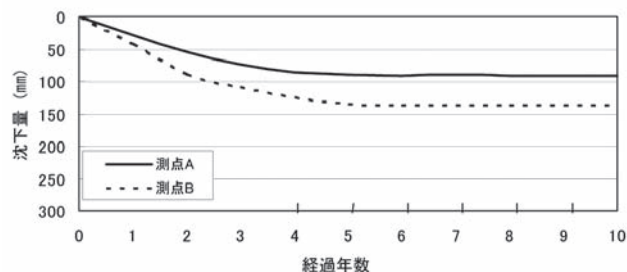


図12 沈下量の経時変化

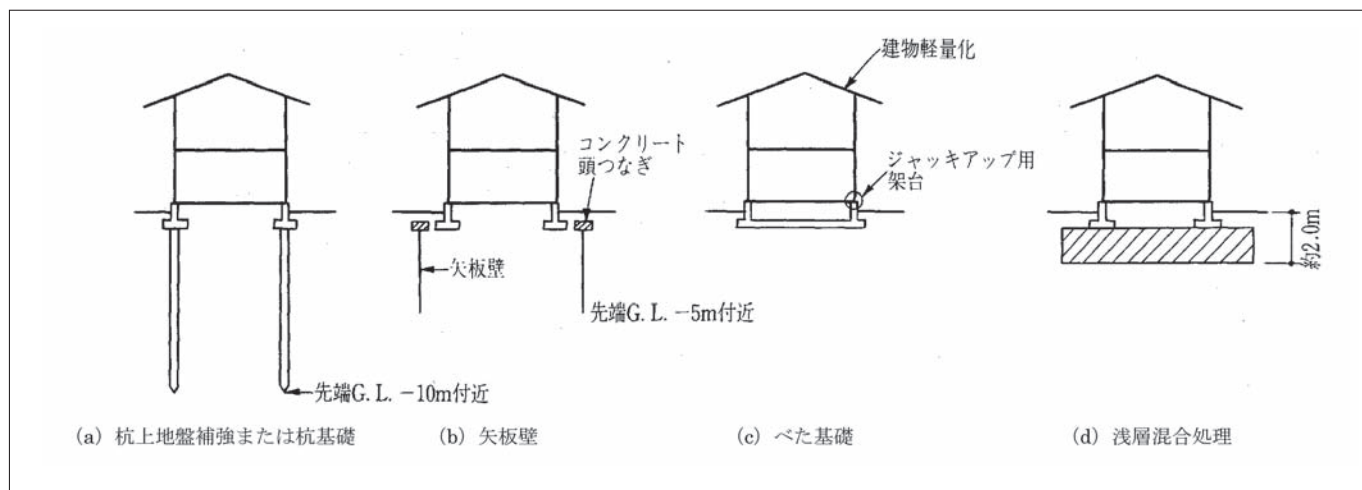


図13 液状化対策例

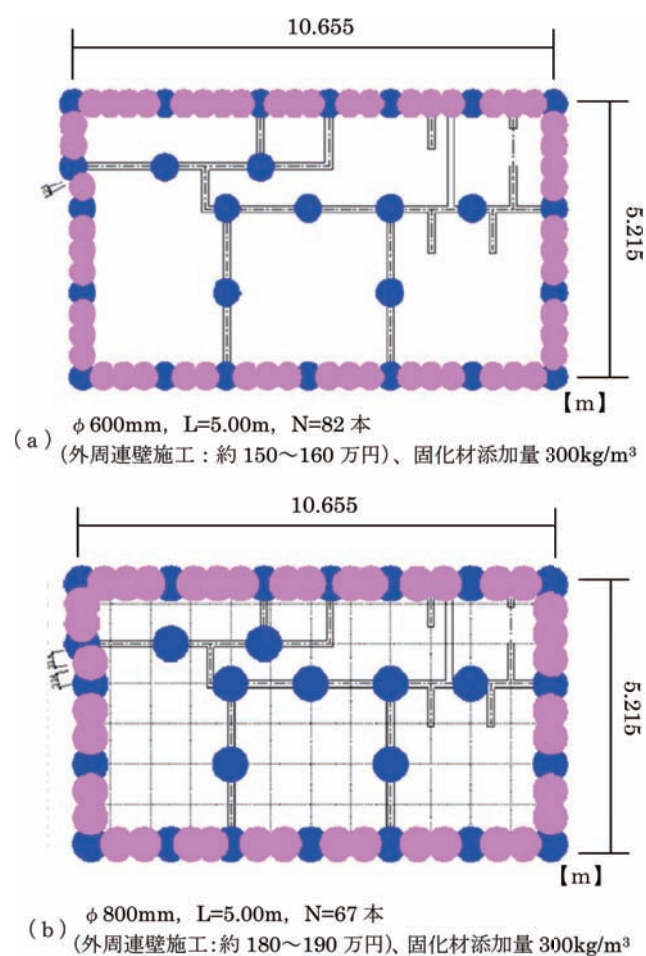


図14 外周連壁施工の費用

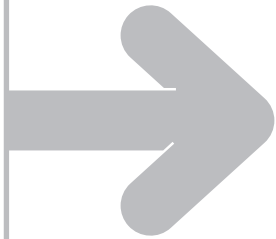
6 まとめ

液状化に対して効果があるとみられる対策工法は数多いが、地盤のみをとらえて効果を議論するのはあまり意味がなく、そこにある建物に有害な変形を生じさせないことを基本に考えるべきであ

る。また、費用がかけられないのであれば、すぐに修復できる工法も1つの対策と言える。さらに、建物の平面形を考慮することも大切である。建物の修復工法によっては、新築と同程度の費用がかかる場合もある。まず、地盤の正確な情報を得ることが建物を設計する上での前提条件であり、建築設計者は今回の震災を教訓に地盤調査や土に関する知識の重要性を強く認識されることを期待したい。

〈参考文献〉

- 1) 日本建築学会:「小規模建築物基礎設計の手引き」, 昭和63年
- 2) 奥墨直人, 藤井衛, 品川恭一:「東北地方太平洋沖地震による液状化地域の低層住宅の被害実態調査」, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.753,754,2013年
- 3) 河合拓也, 藤井衛, 杉山太, 品川恭一, 村山篤司:「液状化に対する地盤の補強効果に関する模型実験」, 第48回地盤工学研究発表会(富山), pp.1823,1824,2013年1
- 4) 藤井衛, 田村昌仁, 後藤年芳, 伊集院博:「諏訪湖周辺における低層住宅の不同沈下調査事例による基礎の沈下抑制効果について」, 日本建築学会構造系論文集, 第538号, pp.93~100,2000年
- 5) 又吉直哉, 藤井衛, 杉山太宏:「表層改良と柱状改良を併用した液状化対策(ベースバランス工法)」, 基礎工, pp56~58, 2012年, 10月
- 6) 日本建築学会:「小規模建築物基礎設計指針」, 2008年



宮澤賢治と地質調査

かとう ひろかず
加藤 碩一*

Key Word

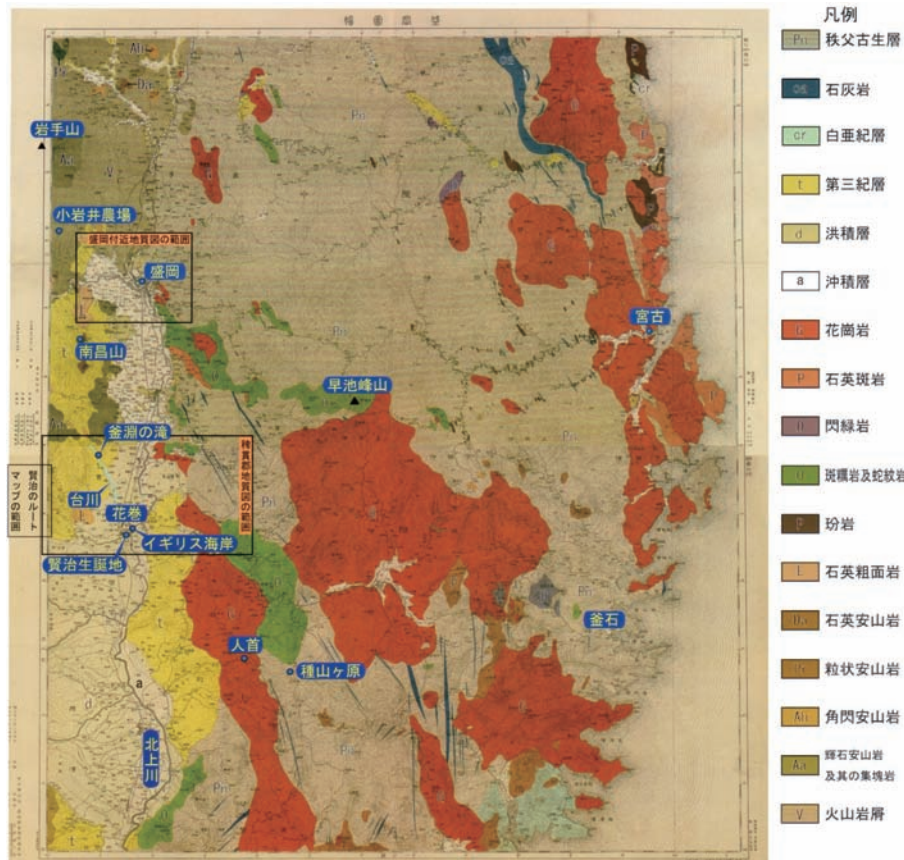
宮澤賢治・地質調査・土性調査・岩手県稗貫郡・イーハトーブ・盛岡高等農林学校

1. はじめに

宮澤賢治（1896～1933）は、幼少の頃から石を始め自然に親しんだことは、「石っ子賢さん」などと綽名されたことから明らかであろう。長じて盛岡高等農林学校農学第二部地質及土壌教室に進学して研究科にまで進み、地質学・土壌学・肥料学などの専門的教育を受け、野外での地質・土性調査にも関わった。それらによって得られた知見や体験は彼の作品世界により一層独特の深みと広

がりをもたらしている。本論では、賢治が学友らと共にあるいは単独でなした地質調査の内容を紹介し、あわせてとその地的背景となった当時の地質と現在のそれとを必要に応じて対照し、より理解を深めようとするものである。

第1図に、イーハトーブ（岩手県）主要部の地質概略を示す。これは、明治～大正時代に農商務省地質調査所が発行した（旧）1/20万地質詳図のうち上半分の『盛岡』（1915）及び下半分の『釜石』（1903）を合わせ、地名等を加筆したものである。これらの



第1図 イーハトーブの地質（加藤ほか，2012）

詳図は盛岡高等農林学校の蔵書でもあり、当然賢治らはこれらを学んでいたに違いない。当時の見解では「秩父古生層」とされた非変成堆積岩類（灰色）は、今日では中生代白亜紀の「大船渡層群」に比定され、早池峰山はじめ各所に分布する蛇紋岩類（緑色）は、当時は中生代ジュラ紀と思われたが、現在では古く遡って古生代オルドビス紀とみなされるなど、地質時代や地質的位置づけについては大きく見解を異にしているが、賢治らの理解はもちろん当時のこれらに依拠しているわけである。作品評価に際して、その地質学的側面を今日の見解からのみ云々するのは妥当性を欠くことに留意すべきである。

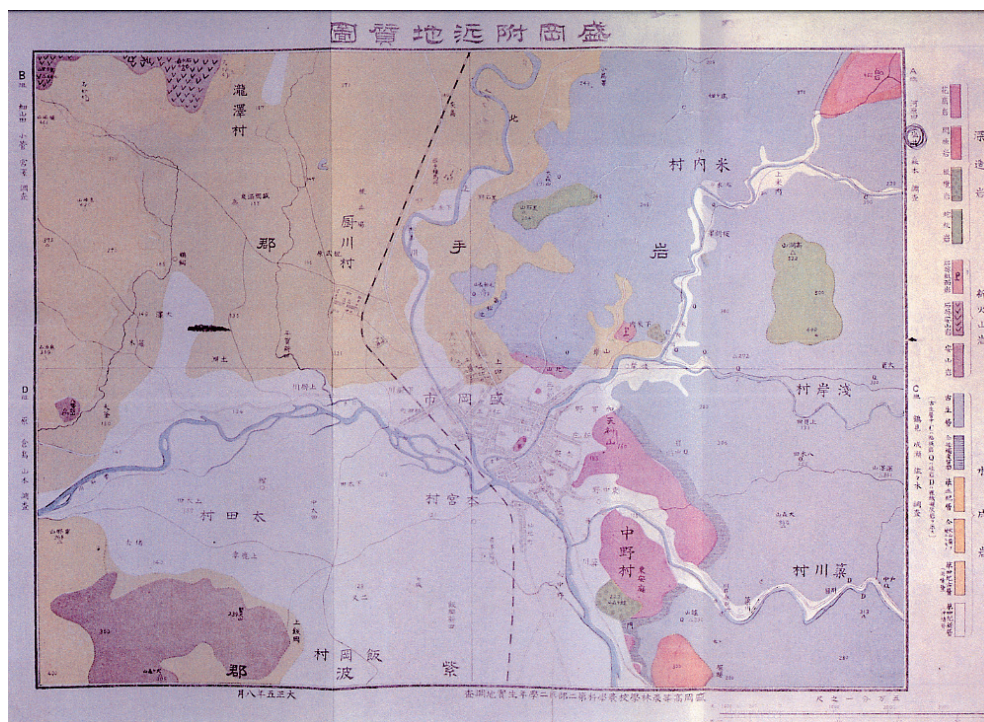
*（独）産業技術総合研究所 名誉リサーチャー 応用地質株式会社エンジニアリング本部顧問

2. 盛岡附近地質調査報文（共同執筆）付

盛岡附近地質図（1/50000 縮尺）

賢治らが、大正5年（1916）二年生時の夏期実習で盛岡付近（1/5万地形図「盛岡」と「日詰」にかかる地域）を地質調査し、その結果を翌年盛岡高等農林学校会報に掲載したものである。第2図に示す「盛岡附近地質図」には、等高線は入っておらず、賢治自身は走向・傾斜を図るクリノメー

ターの扱いに長けていたそうだが、図には走向傾斜も示されておらず地質断面図もなく地質図としてはやや不備で、岩相分布図ないし表層地質図というべきものであるが、翌年からの地質調査所による1/7.5万地質図幅発行に先駆けて刊行されたことは、日本の地質学史上で特筆されるべき事柄である。



第2図 盛岡附近地質図（盛岡高等農林学校農学部第二部第二学生，1917）

地質調査報告書の冒頭は、通例、調査地域の地形概要を記述する。本『報文』においても同様であるが、その中に「此等は実にナウマン氏の所謂北上山地の西縁を形成するものとす。」とある。「ナウマン氏」は、いうまでもなく我が国の近代地質学黎明期に指導的役割を果たしたドイツのハインリッヒ・エドムント・ナウマンを指す。ナウマン（1893）『日本山岳誌大要』附圖の「日本の高度階分布地図」（1：2,600,000）は、日本最初の全国的な地形図であり、これに「Kitakami Bergland」と記してあることを言っているわけである。すなわち Kitakami Gebirge（北上山脈）ではなく、Kitakami Bergland（北上山地）であることによる。本論文は、当時翻訳されておらず賢治らはドイツ語原著にあたったと思われ、また正しく訳していたことになる。当時の盛岡高農のレベルの高さがうかがえる。以下、報文における地質・岩質について述べる。

(1)火成岩：「深造岩及び準深造岩」（花崗岩・閃緑岩・橄欖岩・蛇紋岩）と新火山岩（流紋岩（石英粗面岩）、

石英安山岩、輝石安山岩）に区分している。「深造岩」は「深成岩」、「準深造岩」は「半深成岩」に相当する。「新火山岩」は、第三紀及びそれ以降の火山岩を意味する。これらの岩石名のほとんどが作品中に登場するが、賢治は実際に野外でそれらを観察していたことになる。

花崗岩：進入時代については「花崗岩は本邦産の多数に於けるが如く恐らくは中生代に併発せるものに属し橄欖岩を貫き其の中に細脈を挿入するを見る」と正しく理解しており（現在では白亜紀花崗岩と判明）、かつ橄欖岩との貫入の前後関係を理解している。

閃緑岩：野外観察の結果、花崗岩の周縁相であることを正しく推定しており、閃緑岩を識別する指標の1つである角閃石の量比の認識なども合わせてこれも当時のレベルとしてはかなり高い理解を示している。

橄欖岩：級友塩井義郎の作成による岩石薄片が残されており、ラベルに「蝶ヶ森橄欖岩」とあり（井上,1992）、これに基づく顕微鏡観察結果が記載

され、蛇紋岩化についても記述されている。地域は異なるが、早池峰山は蛇紋岩や橄欖岩からなり、いくつもの詩作品でもそのように記されているが、童話『種山ヶ原』冒頭で「種山ヶ原というのは北上山地のまん中の高原で、青黒いつるつるの蛇紋岩や、硬い橄欖岩からできています。」と記しているのは創作である（第1図参照）。

(2) 堆積岩類（水成岩類）：「報文」の記述では、古生層を珪岩（Q）・粘板岩（C）・砂岩（記号なし）・輝緑凝灰岩（D）に区分しているが、地質図上では「古生層」として一括され、それらの地質境界は明示されず、部分的に記号で表示するにとどまっている。また、花崗岩体周縁部の古生層には接触変質帯を横縞模様で示し（粘板岩が）「花崗岩の接触変質を受けホルンフェルス状をなし、一部は雲母片岩状に変す」と記述されている。

第三紀層の区分としては、流紋質凝灰岩・安山岩質凝灰岩・半熔頁岩・角礫岩である。「半熔頁岩」という術語はないが、「砂岩或いは頁岩が熔岩の熱の為に半ば融解し多少玻璃状に化したるもの」と記されている。熱変質ないし熱変成を受けた頁岩のことであろう。

第四紀層は、洪積層と沖積層に区分し、さらに前者は火山砂層を挟んでさらに上下二部（下部洪積層は、岩手火山噴出物に類似した両輝石安山岩（からなる屑砕物であること）、上部洪積層は、火山灰質ローム）に細分して記載しているが、地質図では未区分である。

3. 『巖手県稗貫郡主要部地質及土性報告書』 （第一章）および同略図（1/75,000）

大正11年（1922）、賢治の指導教官である関豊太郎の名で稗貫郡から発行されたものである。当時の稗貫郡長の葛博が、関教授に土性図作成を依頼したもので、研究科在籍中の賢治は「盛岡高農実験指導補助」という資格で参画し、大正7～9年（1918～1920）にわたる計7回の野外調査と室内での分析は実質的には賢治が大部分を実施した。

第1章 地形及地質：「第一節 地形ノ大要」（省略）

「第二節 岩石及地質系統」「第一項 岩石ノ大別」では、岩石の定義やその分類、地質時代など初歩的な概説を記して、必ずしも専門家とは限らない読者の便宜を図っている。

すなわち「地質学においては一種あるいは数種の鉱物の集合にして大塊をなし地殻を構成する材料をなすものを岩石と総称す」「火成岩、水成岩お

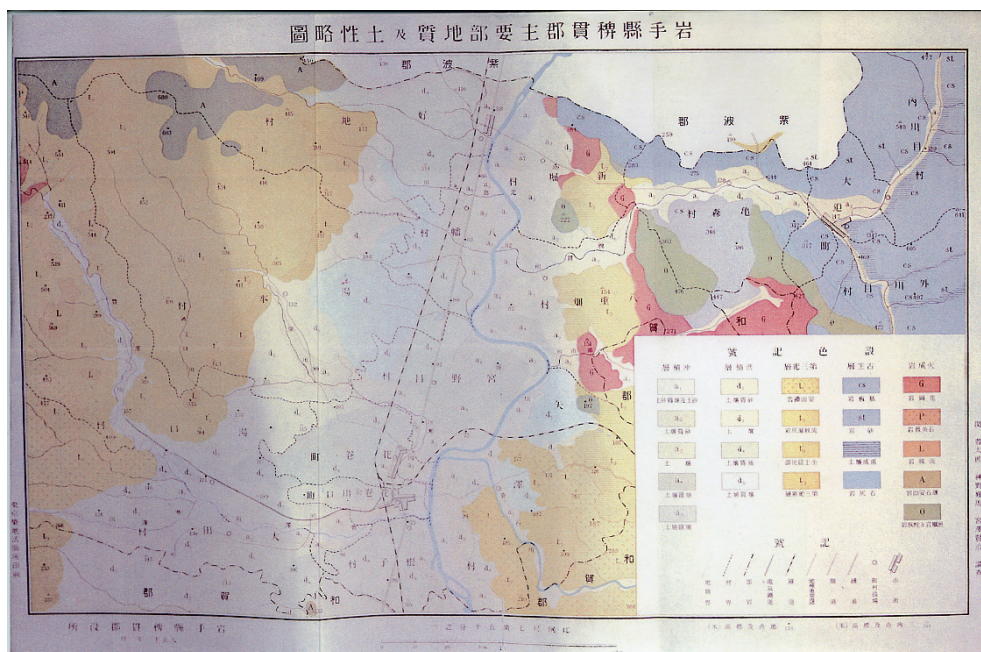
よび変成岩の三群となす。」とし、これらについて簡潔に説明を加えてあるが、基本的な理解は今日のそれと変わらない。

「第二節第二項 火成岩」では、形成深度（冷却速度）による区分（深造岩・半深造岩・火山岩）と珪酸含有%による区分を用いている。酸性岩の珪酸SiO₂の含量は70%を超え、中性岩では60%内外、基性岩では50%以下となっており、現在の区分（酸性岩は、66wt%（重量%）以上、中性岩は、66wt%～52wt%で、塩基性岩は52wt%～約45wt%）と若干異なるが大差はない。さらに、現在では超塩基性岩（約45wt%以下）を区分し、その代表が橄欖岩であるが、賢治の時代は「塩基性岩」に分類している。また、「塩基性岩」は、「基性岩」とも記され、賢治も報告書では用いているが、作品では詩のリズム感をとるため「塩岩」とした例がある（詩「眺望」）。

花崗岩（酸性深造岩）・石英斑岩（酸性準深造岩）・流紋岩（酸性火山岩）・輝石安山岩（中性火山岩）・斑糲岩（基性深造岩）を区分・記載している（最後の「斑糲岩」は、図の凡例では「斑糲岩及蛇紋岩」となっている）。石基や斑晶の詳細な記述からみて明らかに鏡下の観察結果による記載が含まれていることがわかる。

花崗岩類：報告書では、「概ね中粒状にして遠望すれば灰色を呈し石英、斜長石、正長石、黒雲母、及び角閃石よりなり淡色鉱物（石英及び長石）と暗色鉱物（黒雲母及び角閃石）とは極めて不規則に散在し俗に之を胡麻石と称す。」と説明しており、さらに「本岩は恐らくは中生代に迸発したるものにして屢古生層及斑糲岩に注入するを見る」とあり正しく理解しているといえよう。備考として「特ニ注意スヘキハ化学組成上本邦ノ花崗岩カ寧ロ中性岩ニ近似シ…」と追記しており、事実、調査地域の「花崗岩」のほとんどが「花崗閃緑岩」であるが、そのことを示唆しているといえよう。『報文』を書いた時より地質・岩石に就いての理解が格段に深まったことを示す一証左といえよう。また、童話『榎ノ木大学士の野宿』には「角閃花崗岩」が登場するが、これは黒雲母に比して角閃石の量比が多いものを指し「角閃石花崗岩」「閃雲花崗岩」とも呼ばれる岩石である。

石英斑岩：作品中では一か所のみ登場する。すなわち、童話『泉ある家』で「これが今日のおしまひだろうと云ひながら齊田は青白い薄明の流れはじめた県道に立って崖に露出した石英斑岩から一かけの標本をとって新聞紙に包んだ。富沢は地図のその点に橙を塗って番号を書きながら読んだ。



第3図 稗貫郡主要部地質及土性略図 (関, 1922)

齊田はそれを包みの上書きつけて背囊に入れた。」とあり、サンプリングの様子を体験に基づいて記述している。宮城 (1975) によれば、これは本調査時の1コマで、齊田が神野助教授で、富沢が賢治自身をモデルにしているといわれる。

〔第二節第三項 水成岩〕(注:「堆積岩」)

(甲) 古生層: 粘板岩・砂岩・礫岩・硅岩・輝緑凝灰岩・石灰岩に細分して記述しているが、図の凡例では、表記の都合上礫岩・硅岩・輝緑凝灰岩は省略され、直成壤土が追加されている。

(乙) 第三紀層: 第三紀 Tertiary の頭文字 t を用いて、安山礫岩 (t1), 流紋凝灰岩 (t2), この硅化部を (t2'), 第三紀新層を (t3) としている。安山礫岩は、「安山岩ノ角礫及円礫ヲ多量ニ保有スル安山岩質凝灰岩ニシテ新鮮ナルモノハ暗灰色ヲ呈ス」と記載されているので、後述の「安山岩集塊岩」に相当する。「第三紀新層」は、ここでは砂層や礫層を伴う粘土を主体とする浅海性の堆積物で、「新第三紀層」に相当する。

賢治作詞の『イギリス海岸の歌』に Tertiary が頻出する。

「Tertiary the younger tertiary
the younger Tertiary
the younger mud stone
あをじろ日破れ あをじろ日破れ
あをじろ日破れに おれのかげ」
「the younger Tertiary」は、時代的に

は第三紀後期ないし新第三紀 (鮮新世) を意味するが、「younger」という語にとらわれて「初期第三紀」と誤解する向きがある。

賢治と親交のあった齊藤宗次郎によると「大正十二年七月小舟渡北上河岸に於て第三紀泥岩から有史前の巨獣の足跡や胡桃の化石を発見した。…氏は此処をイギリス海岸と名づけて…」(齊藤, 1950) とある。賢治が花巻農学校教師時代に、ここを訪れ賢治に現地を案内された東北帝大の地質の助教授だった早坂一郎は、その著書『角礫岩のころ』(1970) で「その白っぽい泥質砂岩層の表面には、クルミの実その他の不完全な植物破片の化石とともに、恐らくは鹿の類の足跡と思われる化石も発見されたのである (注: 早坂は鹿の足跡と考え恐らく賢治にもそう伝えたが、賢治は同じ偶蹄類だが(太古)牛(ボス)の足跡に想定して童話『銀河鉄道の夜』『プリオシン海岸』に取り入れている)。…誰でもがよく訊ねる様に、彼も、この化石層を何年位前のものかという。それには、当時の地質学の常識に従って、百万年程前のものであるかも知れぬ、と答えた。」と記している。この調査結果を記した早坂 (1924) の謝辞に「花巻の宮澤賢治氏に感謝の意を表す。(大正十四年十二月二十二日)」とある。

(丙) 第四紀層では、洪積層は洪積世 Diluvium の d を用いて、砂質壤土 (d1), 壤土 (d2), 埴質壤土 (d3), 埴質埴土 (d4) に区分し、沖積

層は沖積世 Alluvium の a を用いて、砂土及壤質砂土 (a1)・砂質壤土 (a2)・壤土 (a3)・埴質壤土 (a4)・壤質埴土 (a5) とやや詳しく区分されている。当然土性図を兼ねているためである。『報文』で扇状地堆積物や河岸段丘堆積物を正しく認識していることは評価されるし、作品にも反映されている。

第二節第四項 重要岩石ノ風化産物 (省略)。

4. 野稿図1 (第4図)

賢治が稗貫郡地質土性調査時に作成し、弟の清六氏が保管していたもので (現在は宮澤賢治記念館所蔵)、位置は1/5万地形図「花巻」西隣の「新町」東部にあたる (第1図参照)。And (筆記体、以下同様) と記されているのは、Andesite (安山岩) の略である。Compact And, Comp And と記されているのは、緻密な安山岩という意味である。ここでは、風化変質を受けていない新鮮であり斑晶が目立たない安山岩という意味であろう。逆に more or less propyritized と記述しているのは、このあたりの安山岩類が多かれ少なかれ熱水変質作用 (プロピライト化作用) を蒙って緻密で暗緑色～淡緑色のプロピライト (変朽安山岩・粒状安山岩ともいわれたが、現在では死語) になっていることを示している。図の中央部やや下に opaline とある。一般的には opal の形容詞とみなされるが、やや不自然である。久米 (1957) で「Opaline オーパリン Opal matrix に同じ」とあり、「Opal matrix オーパル マトリックス」の項で「蛋白石の部分薄きか又は小さき為め、その附着せる母岩と共に磨き上げたもの。従ってこの種のもの普通褐色母岩の木地の上に一部分蛋白石を現す。」とある。したがって、これは厳密な鉱物学用語ではなく宝石業界用語とでもいうべきものだが、ともあれ名詞であろう。晶洞中にオパール類が上述の様な産状で産出していることを opaline と記したのであろう。本書は、賢治の死後の刊行であるが、この原本ともいうべき同じ著者による『宝石』(1914) が大正時代初期に刊行されているから、時系列的には賢治が読みえた可能性はある。賢治は、一時宝石の人造・加工や売買で身を立てようとした時期もあり、こうした用語にも詳しくあったであろう。

Q. Porphy は、Quartz Porphyry (石英斑岩) の略である。Lip dyke? とあるのは、Liparite dyke? (流紋岩岩脈?) である。賢治は、Conglomerate と記しているが Conglomerate の誤記で他所にもある。Tuff Conglomerate (Conglomerate の誤記) は、

基質の部分が凝灰岩で円礫を含む礫岩であろう。Obs. とあるのは、obsidian (「黒曜岩」) の略である。light coloured shale (筆者注：明色頁岩) と記されているのは厳密な術語ではなく、いわゆるフィールドネームのたぐいである。

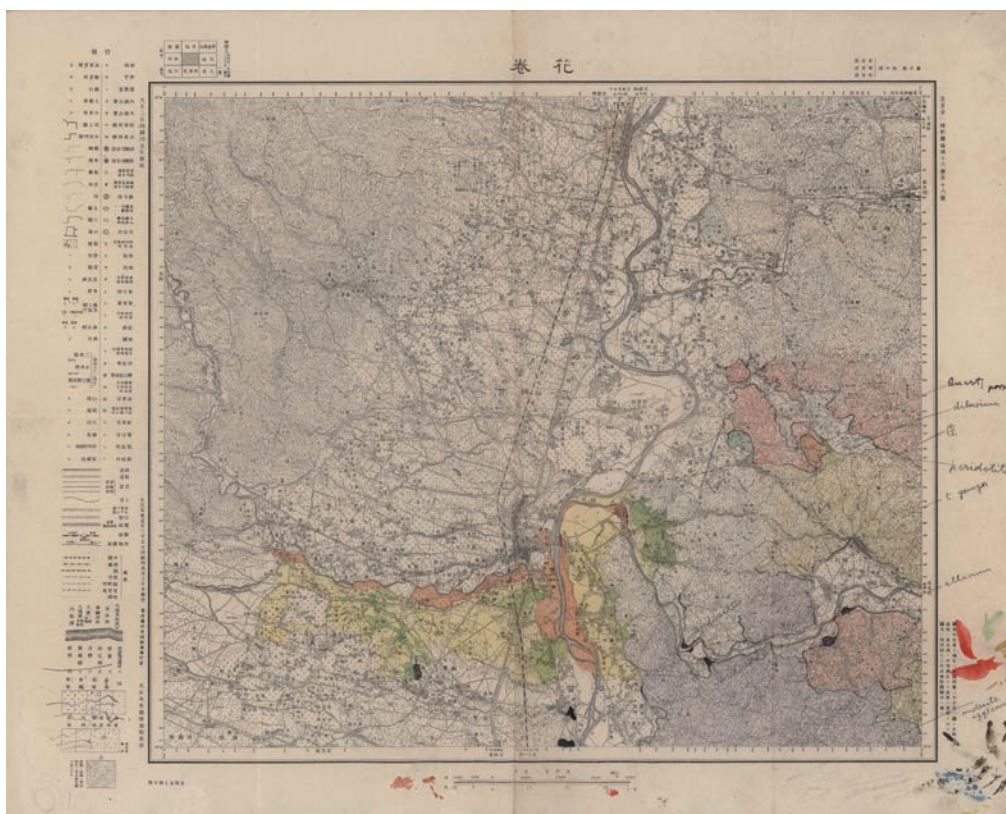


第4図 野稿図1 (宮城, 1975)

5. 野稿図2 (第5図)

賢治の盛岡高等農林学校在籍時の学友だった原勝成宅が平成11年夏に取り壊された際に、作成者不明の「花巻」の地質図草稿を沢井が貰い受けた (加藤ほか, 2013)。本図は1/5万地形図「花巻」の南部～南東部に地質に対応した塗色がなされ、英語で岩質などが記入されている。これが賢治自筆のものか否か検討されてきた。本問文書鑑定研究所に依頼したところ、賢治自筆であるとほぼ特定された (加藤ほか, 2013)。

図中に記入された欧文用語は以下のとおりである (一部意味不明を除く)。詳細は、別途稿を起こす予定なので最小限の記述にとどめる。



第5図 野稿図2 (加藤ほか, 2013)

Quartz porphyry : 石英斑岩。

G. : granite (花崗岩) の略 (実際には「花崗閃緑岩」)。

peridotite : 橄欖岩 (現在の知見では橄欖石玄武岩)。

Andesite : 安山岩。an : andesite の略。

andesite agglomerate : 安山 (岩) 集塊岩。

Ter : Tertiary (第三紀) の略。

t.younger : 新第三紀層ないし第三紀後期層。

diluvium : 洪積層。

alluvium : 沖積層。

記述事項は、おおむね正しいが、いくつかの岩石種については誤記・誤認があり、岩石分布についても、未完成の部分があるが草稿段階ではやむをえないとすべきであろう。これらを通してみると、賢治の地質調査能力は十分で、現在にも通用するレベルといえよう。

〈参考文献〉

- 早坂一郎 (1924) 「岩手県花巻町産化石胡桃に就いて」 地学雑誌, 38, 55 - 65.
- 本間利行 (2913) 『鑑定書』 7p. (付属資料 22p.)
- 井上克弘 (1992) 『石っこ賢さんと盛岡高等農林一偉大な風景画家 宮澤賢治』, 213p. 地方公論社.
- 加藤碩一 (2006) 『宮澤賢治の地的世界』 愛智出版, 142 p.
- 加藤碩一・青木正博 (2011) 『賢治と鉱物』 工作舎, 272 p.
- 加藤碩一・青木正博・長森英明 (2012) 「イーハトーブの地質ジオ」 独立行政法人 産業技術総合研究所地質調査総合センター研究資料 No. 554.
- 加藤碩一・沢井敬一・大石雅之・横山一巳 (2013) 「賢治着色地質図草稿新資料の検討」 賢治学会研究発表会.
- 久米武夫 (1957) 『宝石・貴金属辞典』 風間書房, 105p.
- 宮城一男 (1975) 『農民の地学者 宮澤賢治』 築地書館, 211p.
- 盛岡高等農林学校農学部第二部第二学生 (1917) 盛岡附近地質調査報告文 [共同執筆]. 盛岡高等農林学校校友会会報. ([新] 校本宮澤賢治全集第十四巻, 18-32. 筑摩書房)
- Naumann, Edmund (1893) "Skizze der Orographie von Japan" Petermanns Geographische Mitteilungen, III, 37-45.)
- 関豊太郎 (1922) 「巖手県稗貫郡地質及土性調査報告書」. 岩手県稗貫郡役所. ([新] 校本宮澤賢治全集、第十四巻, 44-59. 筑摩書房)

Key Word 地盤材料, 土質定数, 液状化, 繰返し回数

1. はじめに

一般的に、20m 以浅の沖積層の砂地盤は、地震が発生したときには、地震動によって砂粒子のかみ合いがはずれ、水中に浮かんでいるようになり、土が本来持っている強さが失われた状態となる。

また、砂粒子の間に存在している地下水は、急には水の逃げ場がないために、高い圧力（過剰間隙水圧）を有した状態となり、外に出されることになる。このことで、地表面に噴砂、噴水が生じ、「液状化」が発生し沈下が生じることとなる。

実際に、2003 年十勝沖地震における液状化が生じた事例を写真-1 に示す。この写真では、直径 1.6m 程度の円形状に噴砂が見られ、噴砂口も明瞭に確認できた。このように、大規模な地震が発生すると、埋立土や沖積砂質土層においては、液状化が発生することが多いとされている。

ここでは、繰返し非排水三軸試験方法を用いて、「液状化に対する抵抗力」を求める試験について判りやすく解説する。

2. 液状化検討の対象となる地盤条件

我が国における代表的な基準を対象として、液状化判定の必要があると考えられる地盤条件を表-1 に整理した。これらをまとめると、以下のように整理できる。

- ①液状化の対象層は、地下水位が GL-10m 以浅にある飽和砂質土で、20m 以浅を対象とする。一部、洪積層であっても、 N 値が極端に低い場合には検討対象としている。
- ②透水係数 (k) について、 $k \geq 3 \times 10^{-2}$ (m/s) を確認した場合には液状化しないと判断すること



写真-1 2003 年十勝沖地震における十勝港における液状化の代表的事例（撮影：著者）

が可能としている。

- ③細粒分含有率 (F_c) について、 $F_c \leq 35\%$ を主として対象としている。
- ④粒度と N 値による検討で判定が難しい場合には、繰返し非排水三軸試験による予測・判定を行う。この場合は、砂質土を対象として、乱れの少ないサンプリングを行い、繰返し非排水三軸試験を実施し、原地盤の液状化強度比 (R_{max}) を求める。一方、地盤の地震応答計算を実施し、原地盤内に生じる最大せん断応力比 (L_{max}) の分布を求め、 $F_L = R_{max}/L_{max}$ によって判断する。ここで、 $F_L \leq 1.0$ であれば液状化すると予測する。
- ⑤前項によって、地盤のごく一部が液状化すると判定された場合には、その液状化によって、地盤全体および構造物に被害が生じるかどうかを、地盤の沈下、変状、すべり破壊などのポイントから総合的に判断して、対策工の必要性を判断することとなる。

*中部土質試験協同組合（ジオ・ラボ中部）理事長

なお、液状化の判定方法に関して、2011年東北太平洋沖地震の際の東京湾沿岸、利根川流域等を含む広範囲の調査の結果、従来の判定法で液状化予測判定が可能と判断されている。これは、地震による地震動の継続時間が長かったことも、液状化を助長させたと考えられたが、液状化が発生した地点で、「液状化しない($F_L > 1.0$)」という「見逃し」がなかったことから、今のところ従来法で適用可能とされていることによる¹⁾。

3. 繰返し非排水三軸試験

原地盤の液状化強度特性を求めるためには、地盤工学会基準の「土の繰返し非排水三軸試験方法」(以下、試験法)(JGS 0541-2009)²⁾を用いる。

地震発生時に生じる繰返し応力の振幅と周期は不規則であるが、これらを一一つ室内試験で再現することは困難なことから、試験法では、等方圧密した供試体の軸方向に、一定振幅の繰返し荷重を非排水条件で載荷して、原地盤の液状化強度特性を求めている。

こうして得られた液状化強度特性は、原位置における液状化強度特性そのものではないが、その良い指標となると考えられている。

(1) 試験供試体

試験法によれば、供試体の標準径は、 $\phi \geq 5\text{cm}$ (砂質土)、 3.5cm (粘性土)とし、供試体の高さは、 $h = (1.5 \sim 2.5) \times \phi$ と規定されている。

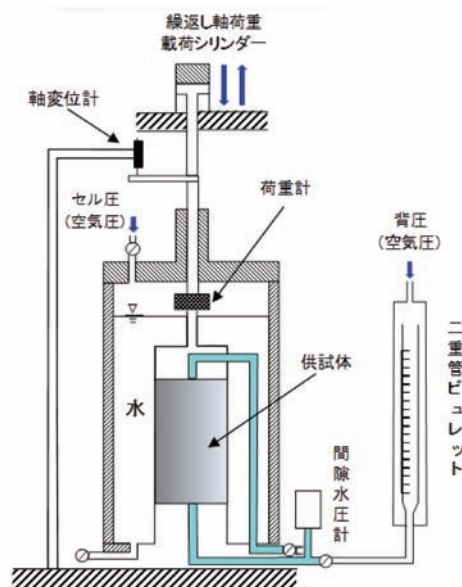


図-1 標準的な繰返し三軸試験装置
(荷重計が三軸セル内にある形式)

(2) 試験手順の概要

調査地で採取された砂質土の試料は、現地ドライアイス等を用いて、冷凍させた後に、試験室に運搬する。これは、砂質土の場合には、運搬時の少しの振動でも、液状化して原位置の状態とは全く異なってしまふこと等による。

- ①凍結成型機等を用い、凍結状態のまま、所定(例えば、 $\phi = 5\text{cm}$, $h = 10\text{cm}$)の供試体に仕上げる。
- ②供試体を凍結したままセル内に設置(図-1)して、セル内で融解させる。

表-1 代表的な基準における液状化判定の必要がある地盤条件

発行機関	日本道路協会	日本建築学会	日本港湾協会	運輸省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所
基準類	道路橋示方書 V 耐震設計編	建築基礎構造設計指針	港湾の施設の技術上の 基準・同解説	鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計
発行年	平成24年3月	平成13年10月	平成19年9月	平成11年10月
対象構造物	橋梁	建築物	港湾施設	鉄道施設
対象深度	・地下水位が地表より10m以内 ・地表より20m以内の飽和土層	・地表より20m以内の沖積層 (飽和土層)	・飽和砂質土(深度20mまで) (海面下では海底面から)*	・地下水位面が現地盤面から10m以内 ・現地盤面から20m以内
判定根拠	・粒度試験(1試料/1m) ・液性限界・塑性限界試験	・代表的ボーリング孔の各砂質 土層で物理試験(1試料/m ³)	・粒度試験(1/1m)	・粒度試験(頻度は記載無し)
土質判定条件	・50%粒径 $D_{50} \leq 10\text{mm}$ ・10%粒径 $D_{10} \leq 1\text{mm}$ ・細粒分含有率 $FC^* \leq 35\%$ (注: $FC \geq 35\%$ の場合には、 塑性指数 $Ip \leq 15$ を対象)	・細粒分含有率 $F_c \leq 35\%$ ・この他以下の土層も対象とする ①埋立地盤、人工造成地盤等では、 粘土分 $\leq 10\%$ 、または 塑性指数 $Ip \leq 15$ ②細粒土を含む礫層、透水性の 低い土層に囲まれた礫層	(第1STEP) ・均等係数の大きい砂 $U_c \geq 3.5$ (付図は省略) ・均等係数の小さい砂 $U_c < 3.5$ (付図は省略) ・透水係数 $k \geq 3 \times 10^{-2} \text{m/s}$ を確認し た場合、液状化しないと判定 (第2STEP) ・地震応答解析、動的試験による	・50%粒径 $D_{50} \leq 10\text{mm}$ で、 かつ粒径 $D_{10} \leq 1\text{mm}$ ・細粒分含有率 $F_c \leq 35\%$ 、これを超えて いても、粘土分含有率 $P_c \leq 15\%$
備考	・本示方書の地表面とは、完成時 における地表面 ・換算N値算定:調査時を基準 ・レベル1地震動に対しても 液状化判定を実施 注*)本示方書では、FC表記	注*)日本建築学会:建築基礎設計 のための地盤調査計画指針、 p.27, 平成7年.	注*)液状化対象土層の追加検討層	・N値が極端に低い場合は、洪積層でも も乱さない試料を採取し、室内土質試験 等を実施し、判定を行う対象とする。

③ここで、一定の背圧（一般的には、100kN/m²以上を標準）を加えたままで、間隙水圧係数B値 ≥ 0.95 を確認する。その後、所定の圧密応力 σ'_c まで等方圧密する。このとき、軸方向圧密圧力（ σ'_{ac} ）と側方向圧密圧力（ σ'_{rc} ）の比は、以下の値を満足させる必要がある。

$$0.98 < (\sigma'_{ac} / \sigma'_{rc}) < 1.02$$

④この後に、繰返し荷重を与えて、軸荷重、軸変位、間隙水圧を計測する。また、セル圧が変動する場合には、連続的に記録することが必要となる。なお、第1波は、圧縮荷重とする。

⑤一般的には4供試体を準備し、繰返し回数20回の液状化強度比を挟むように、4種類の軸荷重を設定する。ここが、試験技術者の「腕の見せ所」といっても過言ではない。繰返し回数が200回を超えるか、 $(\Delta L/Hc) \times 100 \geq 5\%$ となったら、試験を終了する（ ΔL ：繰返し荷重中の供試体軸変位量、 Hc ：圧密後の供試体高さ）。

⑥これらの試験手順を繰返し、供試体の両振幅ひずみ（DA）が1～5%に、あるいは過剰間隙水圧比が95%になる繰返し応力振幅比と繰返し回数との関係を求め、相関図を作成する（図-2）。この図から、繰返し回数15～20回に相当する繰返し応力振幅比（DA=5%あるいは過剰間隙水圧比95%）を算出し、液状化強度としている。

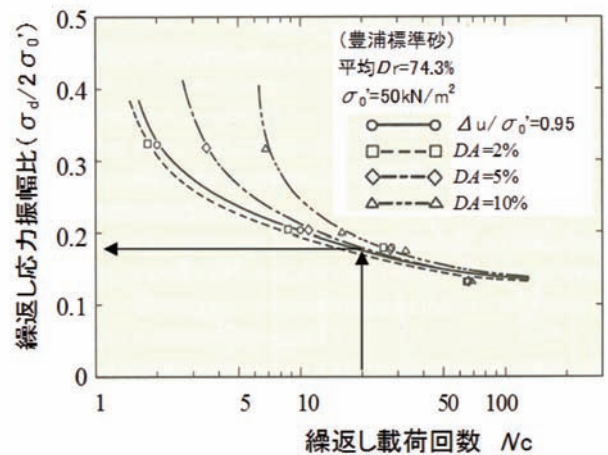


図-2 繰返し応力振幅比～繰返し荷重回数

表-2 圧縮・伸張荷重の比のチェック

軸ひずみの両振幅	圧縮・伸張荷重の比 (P _C /P _E)
DA ≤ 1%	1.14
DA = 1%	1.54
DA = 2%	1.44
DA = 5%	1.09
DA = 10%	1.13

チェックポイント-1

(3) 試験結果のチェックポイント

繰返し軸荷重は、DA =2%に到達するまで以下の2点を満足する必要がある。

(繰返し軸荷重の制限)

- ①等方応力状態から定義した圧縮荷重の片振幅P_Cと伸張荷重の片振幅P_Eの和(P_C+P_E)の変動が10%以下であること。
- ② $0.9 \leq P_C/P_E \leq 1.1$

これらの点を考慮すると、表-2の事例の場合には、上記の②を満足していないことが判る。このときの軸応力をみると、図-3のように軸差応力の0点移動が見られ、伸張側よりも圧縮側に移動していることが判る（なお、これは極端な事例であるが、当組合のデータではないことにご留意）。

このような場合は、図-4 (b) のように、理想的な状態（5%以内）からはずれていることが予測される。試験供試体の特性にも関連するかもしれないが、このような試験とならないように留意したい。

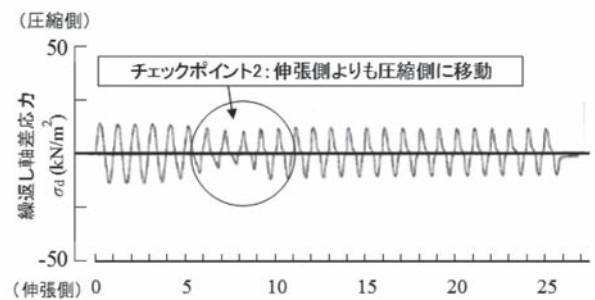


図-3 繰返し軸差応力の0点移動の極端な事例

4. 繰返し三軸試験における繰返し回数⁵⁾に加筆

石原は、液状化に必要な不規則な応力比について、一様な振幅の荷重パターンを20回の繰返しで代表させるというルールを定め、新潟地震（M=7.5）における液状化現象を検証している³⁾。

一方、吉見は、複数の飽和砂供試体に対する非排水繰返し三軸試験結果から、繰返し回数15回に対応するせん断応力比の値を液状化抵抗とよんで

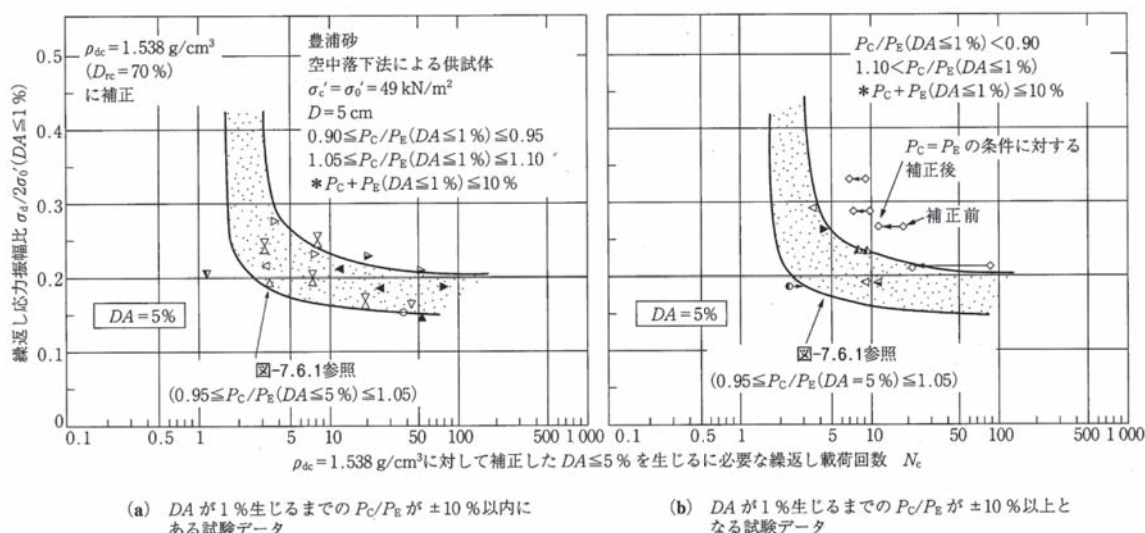


図-4 繰返し軸荷重の対称性が試験結果に及ぼす影響²⁾

いる⁴⁾。

これらによって、今日まで多くの土木および建築関係の研究者が、 $N_c = 15 \sim 20$ 回に対する繰返し応力比を用いて液状化の検討を行い、多くのデータが蓄積されているといえる。

一定振幅の繰返しせん断応力の作用によって、繰返しせん断破壊（液状化）に至る繰返し回数は、繰返し軸差応力の片振幅（ σ_d ）の大きさに依存することが知られており、 σ_d が大きい程、少ない繰返し回数でせん断破壊（液状化）に至る。

同一の拘束圧下で σ_d の大きさを変えた一連の試験を行えば、 σ_d と液状化に至る繰返し回数 N_c の関係を得ることができる。

しかし、繰返し軸差応力の片振幅 σ_d を試験時の拘束圧 σ_c で除した、繰返しせん断応力比 $R_L = (\sigma_d/2\sigma_c)$ に置き換えると、拘束圧に依存しない繰返しせん断（液状化）強度比 R_L と繰返し回数 N_c の関係を表すことができる。この $R_L \sim N_c$ 関係を液状化強度曲線（図-2）としている。

試験結果を両対数グラフにプロットすると、 $N_c \geq 5 \sim 50$ の範囲では直線状となり、次式で表すことができる。

$$R_L = a (N_c/N_{c0})^b$$

ここで、 a , b , N_{c0} : 曲線パラメータ

上式によれば、土の繰返しせん断破壊（液状化）に対する抵抗力 R_L （強度）は、地震動によるせん断応力の繰返し回数 N に依存することになり、静的なせん断強度のように一定の数値として表すことができない。そこで、石原は、我国の観測地震

波の分析に基づいて、代表的な地震動のせん断応力繰返し回数 $N_{c0} = 20$ 回^{注1)}と定め、 $N_{c0} = 20$ に対応する液状化強度曲線の応力比 R_{L20} をもって、地盤が保有する液状化強度比と考えることを提案した。これにより、上記の $R_L \sim N_c$ の関係は、以下のように表記される。

$$R_L = R_{L20} (N_c/20)^b$$

R_{L20} : 繰返し回数 20 回で液状化に至る応力比

b : 液状化強度曲線の両対数グラフ上の勾配

R_{L20} を地盤が保有する繰返しせん断強度比^{注2)}（または液状化強度比）と呼ぶことにしている。

但し、簡略化のため R_{L20} から添字の 20 を取り除いて、 R_L と表記することが一般的である。

また、龍岡等によれば上式の指数 b の代表値は $b = -0.17$ であるとしている⁶⁾。

注¹⁾ 当時の観測地震波による有意なせん断応力の繰返し回数は最大で 10 ~ 15 回であったが、この繰返し回数は震源断層で放出されるエネルギー（モーメントマグニチュード）と震源までの距離に依存することが知られており、石原はマグニチュード $M = 8$ 程度を想定して 20 回としたようである。少し大きすぎるのではとの見解もあったが、東北の大地震を経験した今日では適切な設定値であると評価される。

注²⁾ 道路橋示方書では、 R_{L20} から添字の 20 を除いて R_L と表記し、繰返し三軸強度比¹⁾としている。

5. まとめ

本報告では、繰返し非排水三軸試験方法について、①液状化検討の対象となる地盤条件、②試験方法と試験結果のチェックポイント、③試験結果評価における繰返し回数について解説した。

- ①では、最新の基準である道路橋示方書 耐震設計編を中心に、その他の指針・基準・標準に対して、対象深度、判定根拠、土質判定条件等について比較表を作成した。
- ②では、試験結果のチェックポイントについて詳述した。読者が試験結果を評価する際に参考となれば幸いである。
- ③では、実務で用いられている液状化強度比 R_L を算出する際に用いられている $N_c = 15 \sim 20$ について詳述した。

東北大震災以後、多くの繰返し非排水三軸試験が実施されている。これらの試験結果がより適切に調査・設計に適用され、社会資本整備に貢献していくことを祈念してまとめとしたい。

〈引用・参考文献〉

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V耐震設計編，8章地震時に不安定となる地盤の影響，pp.132～149，2012
- 2) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説-二分冊の2-，pp.730～746，2009
- 3) 石原研而：土質力学の基礎，p.272，鹿島出版会，1995
- 4) 吉見吉昭：砂の乱さない試料の液状化抵抗～N値～相対密度関係，土質工学会，土と基礎 vol.42-4，p.64，1994
- 5) 安達健司：EXCESS/Winプログラム解説書，pp.1～8，2013
- 6) 龍岡文夫，安田進，岩崎敏男，常田賢一：Normalized Dynamic Undrained Strength of Sands Subjected to Cyclic and Random Loading，土質工学会論文報告集，vol.20，No.3，pp.1-16，1980
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V耐震設計編，8章地震時に不安定となる地盤の影響，pp.138～141，2012
- 8) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V耐震設計編，4章設計地震動，pp.23～25，2012

コラム-1

凍結試料の成形について

現場でサンプリングチューブに採取した砂質土の試料は、現地でドライアイス等を用いて、冷凍させた後に試験室まで運搬される。

試験室では、凍結したまま成形するが、このとき写真-2のような成形機を使うと、砂質土であれば3分程度で成形(写真-3)可能であり、試料を極力乱すことなく成形する。

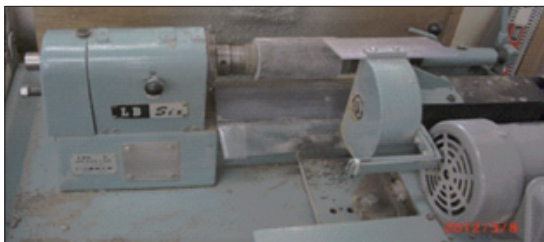


写真-2 凍結試料成形機の例



写真-3 成形後の試料
(端面成形前)

コラム-2

道路橋示方書 2012 年改訂版における主要ポイント

①条文に規定された繰返し三軸強度比 R_L の算定式には、凍結サンプリングによる試料を用いた非排水繰返し三軸試験結果及び兵庫県南部地震を含む事例に基づき、砂質土と礫質土に分類して算定することを求めている⁷⁾。

・砂質土・礫質土の区分基準：

砂質土： $D_{50} < 2\text{mm}$ ，礫質土： $\geq 2\text{mm}$

②従来、液状化判定をレベル2地震動に対してのみ行い、レベル1地震動の土質低減係数 D_E は、レベル2地震動に対して求めた液状化に対する抵抗率 F_L に応じて設定することとされていた。

今回の改訂では、レベル1地震動の D_E を設定することができるようにするために、レベル1地震動に対する液状化の判定を行うように規定された。このときの設計水平震度の標準値は、平成2年の道路橋示方書に規定されていた値が採用されている⁷⁾。

③平成23年に発生した東北地方太平洋沖地震は海洋性のプレート境界型の地震とされている。今後、南海トラフ大地震のように、プレート境界型の大地震発生の逼迫性も公表されていること等を受け、プレート境界型の大地震による地震動を推定した結果をもとに、レベル2地震動(タイプI)が見直され、新たな地域別補正係数として $c_{1Z}=1.2, 1.0, 0.8$ が設定された⁸⁾。

基礎技術 講座

地表地質踏査の原点 ～過去から現在へ～

うえだ まさと
上田 正人*

Key Word 地表地質踏査, 地質学, 応用地質学, 地質図, ルートマップ, 地質構造, 地すべり, 三疊紀後期, P/T境界, 生物大量絶滅, 隕石衝突, スーパーアノキシア

1. はじめに

地質学, とりわけ社会環境とともにある応用地質学 (applied geology) の分野に身を置く地質技術者や研究者の方々にとって, 現地の地質状況を把握するために地形図上に露頭状況を書き込み, 成果として目的に応じた地質図や地質断面図をつくる, すなわち「野外からの発想」の重要性についてはご存じだと思います。

このことはまた, 筆者が学生時代に「地表地質踏査」が数ある地質調査法の基本であると諸先輩から繰り返し教えられ, 実践したことでもあります。地表地質踏査の技術を紹介した良書は数多くあるため, 今回の講座では少し視点を変えて, 地質学及び地表地質踏査の原点を振り返るとともに, 当時から脈々と続き, 現在にいたる「踏査の面白さ」の一端を紹介してみたいと思います。



写真-1 『世界を変えた地図』の表紙

2. 地質学の原点

2.1 貴族の学問

「地質図」は科学を新時代に導き後世に実利をもたらした世紀の大発明ですが, それを完成させた男を待っていたのは, 監獄行きの馬車でした。

S.Winchester 著 “The Map that Changed the World” (邦訳『世界を変えた地図』) (写真-1) は「地質学の父」と呼ばれた英国のウィリアム・スミス (William Smith) の伝記で彼の知られざる波瀾の人生を記しています。

スミスは農民出身の土木技師でしたが数知れぬ地層観察と類稀な洞察力でダーウィンに先んじて聖書の世界観を覆す発見をし, 晩年には地質学会

から名誉あるウォラストン・メダルを贈呈されています。

当時の地質学は博物学の域を出ず, 地質学会は貴族階級や僧侶の鉱物・化石コレクターのための会食クラブで彼は地質学会の入会すら拒否されます。地球の歴史は聖書から逆算した6,000年程度とされていた時代に, スミスはたった一人で国中の地層を観察してまわり, 地層の重なりには法則性があること, そこに含まれる化石によって地層の種類を同定できることを発見しました (サイモン・ウィンチェスター・野中邦子 (訳), 2010)。

彼の行為は純粋な好奇心のみによってなされ, 何らの見返り報酬を求めていなかったのですが, 19世紀に入ると研究や炭鉱で給料がもらえるようになり, 職業として観察や実験をこなす新しい地

*中央開発株式会社 技術センター 地質部長

質学のスタイルが生まれました。調査事実や実験に基づく実証的な研究こそ科学であると認識される近代地質学は産業革命期に土木建設と密接に関わる実学として誕生し、近代科学に脱皮したのです。

2.2 丹那トンネル工事における地質学

わが国で初めて地質学の重要性が認識されたのは1918年に始まった東海道本線丹那トンネル工事だと言われています。主として地理的見地からトンネルルートが決定されたため、40 mの破碎帯を有する丹那断層掘削や度重なる湧水に悩まされて数十人の犠牲者を出し、完成までに16年の歳月を要した難工事でした(服部, 2013)(図-1)。

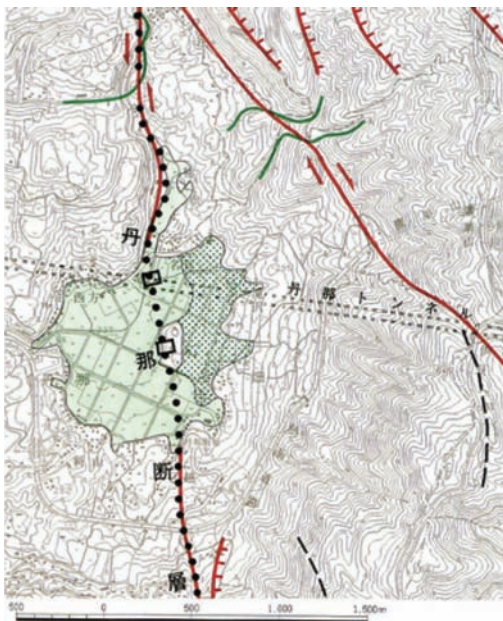


図-1 丹那トンネル及び丹那断層位置図
(2万5千分1都市圏活断層図「熱海」
(八木ら, 2005))

事前の地質調査が十分でなかったことから、1923年東京帝國大學理學部地質學科卒業の渡邊貫、廣田孝一、佐伯謙吉の三名が初めて地質技術者として鐵道省に採用されました。彼らは地質の立場から、工事の進歩を助け、渡邊は入省5年後の1928年に『土木地質學』を著しています。さらに3年後の1931年、久野久は東京帝國大學地質學教室で箱根・伊豆半島の地質・岩石・鉱物の卒業研究を始めました。貫通前後の丹那トンネル中央部の1.5kmにしばしば入坑して側壁の岩石露出面を観察し、旧丹那トンネルの地質断面図を作製するため、地表踏査は少なくとも実動100日を費やしています(久野, 1962)。

近年ではグローバルに地質学分野のテーマが細分化されて小領域を探求する地質家が増え、フィー

ルドで大きなテーマの真理探究を目指す例が減ってきているようですが、これら先達による地質学の原点を忘れないようにしたいものです。

3. 地表地質踏査の原点

3.1 70年前の卒業論文

「遙か車窓を眺むれば…」筆者が学生時代に地質研究室で目にした、大先輩の卒業論文はこのよう書き出しで始まっていました。まえがきではなく、本文です。1940年代当時、地表地質踏査を行うために何ヶ月間を過ごす卒論のフィールドに向けて汽車で出発した際、車窓を通して目にした風景が詳細に記されています。目的地に向かって汽車に乗った瞬間から地表地質踏査の旅が始まっていたことが見えてきます。

卒論の本文はもちろん、図表も含めて全ページが和紙に筆書きです。今の若い人たちが見ればまるで古文書と見紛うような風合いで、独特の味わいがあります。見かけだけでなく、読み進んでいくと露頭観察やスケッチの精緻さに驚きます。地質学がまさに実証学であり、地表地質踏査がその唯一の基本技術として研究の中で重視されてきたことがわかります。

3.2 地図のない世界

地表地質踏査で最も重要なことは、今自分がいる位置、露頭の場所を正確に把握することです。この意味において正確な地形図は必携と言えます。日本ではほぼ全国を網羅する5万分1あるいは2万5千分1地形図が国土地理院によって整備されているほか、5千分1あるいは2千5百分1国土基本図、河川管理用の1千分1あるいは5百分1の大縮尺地形図などが発行されています。

しかし、世界を見渡すと軍事的理由で手に入らない場所や山岳地などでそもそも地形図がない場所のほうが多いのです。国内でも長い坑道内などでは基図がありません。

機会は多くないでしょうが、こういう地図がない場所で地表地質踏査を実施する場合はどうするのでしょうか？昔は位置を知るための手段として天文測量や三角測量を用いたと思われませんが、今ではGPSと衛星画像の利用が可能です。たとえば標高1,500 m前後のゴビ砂漠に点在する岩石露頭を対象に行われた地表地質踏査ではハンディGPSが用いられ、踏査ルートの整理には衛星画像が用いられています((独)新エネルギー・産業技術総合

開発機構, 2011)。

3.3 ルートマップの本質

ルートマップとは何か? という問いに対して「地表地質踏査で地形図上に露頭の位置や岩相を記入した図」と答える方が多いと思います。間違いではないのですが、前節 3.2 で記したようにフィールドによっては地形図が必ず入手できるとは限りません。

ルートマップは本来簡易測量などによって自分の位置を確認しながら線状のルート歩いた経路踏査図であり、この図に露頭状況などを記載する作業をマッピングと呼びます。

詳細なマッピング技術は類書に譲りますが、歩測(いまではデジタル距離計も用いられる)で距離を測り、方位はクリノメーターを用いて簡易測量しながら方眼紙や野帳上に露頭位置や地質情報を記載していきます。山岳地などの斜面ではハンドレベルやGPSを用いて高度情報を得ることも行われます。

図-2は四万十帯の栗栖川地域の地質図を作成するにあたって基本となったルートマップの例で、「地質と調査」〔小特集〕地表地質踏査, 1989年第

3号)にも掲載されている図です(鈴木ら, 1979)。

栗栖川地域に分布する始新統~下部中新統の車婁層群は、いわゆるフリッシュ型砂岩泥岩互層からなっており、多くの褶曲や転倒層が見られる複雑な地質構造を示します。

このため、図-2では露頭がある川沿いを歩いて頻繁に走向傾斜を測り、地質構造を見誤らないよう、地層の上下関係の記載が重視されていることがわかります。堆積学の分野でタービダイトの特徴を示す堆積構造を重視する場合はこのほかにもソールマーク、生痕、級化成層、平行葉理、斜交葉理などの記載が必要になります。

図-3はルートマップから地質断面図や地質柱状図を作成する方法を示した図で、今となっては古典的な「地質調査法」(湊ら, 1976)に載っています。川に沿ってマッピングした数箇所の露頭情報から効率良く柱状図や断面図が作成されている教科書的な図で、岩質や層理面の走向傾斜が簡潔に整然と記載されている点にも注目したいと思います。

3.4 応用地質分野におけるルートマップ

ルートマップは純地質学における地質図の作成以外にも多くの目的に用いられますが、たとえば

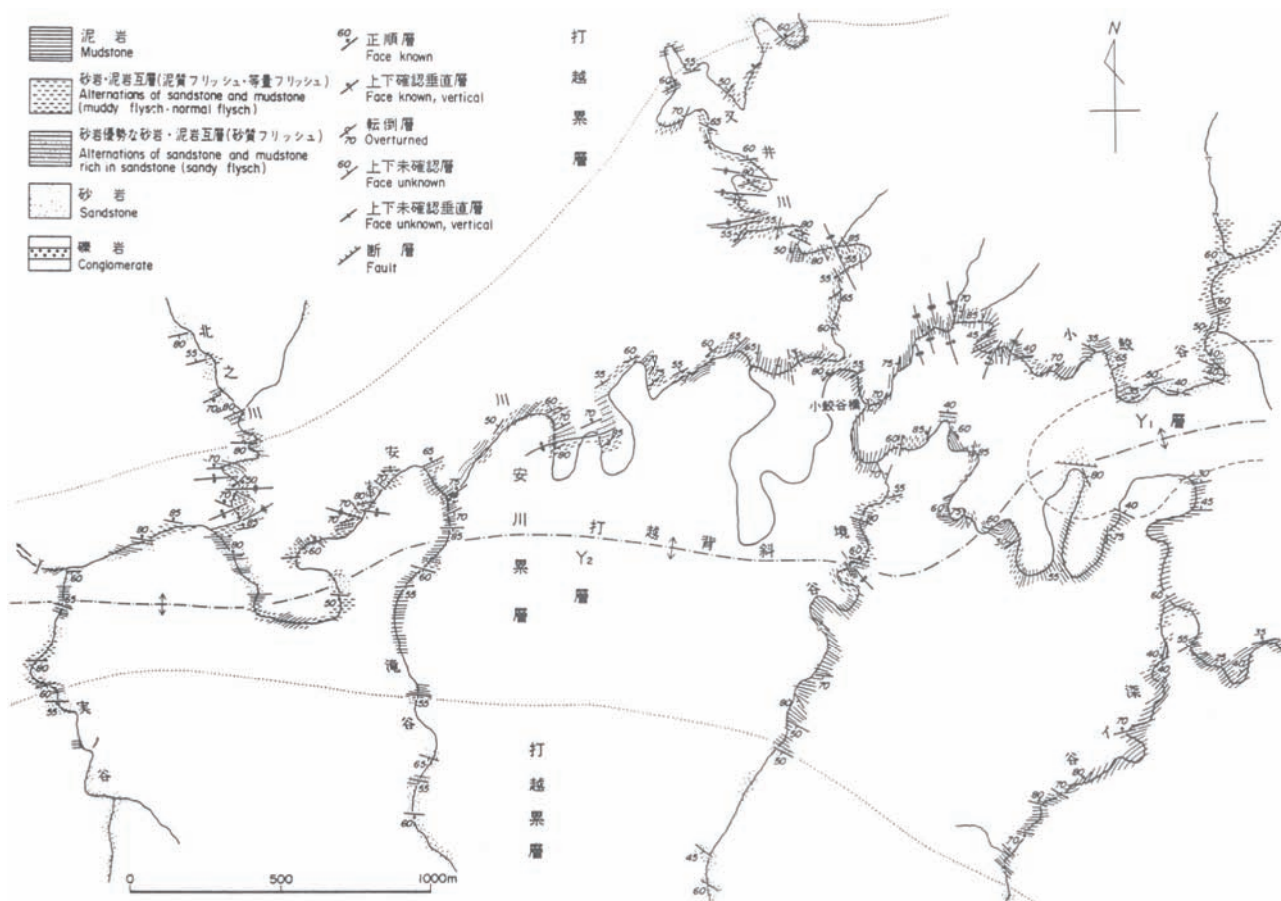


図-2 地質図作成の基本となるルートマップの例 (5万分1図幅「栗栖川地域の地質」(鈴木ら, 1979))

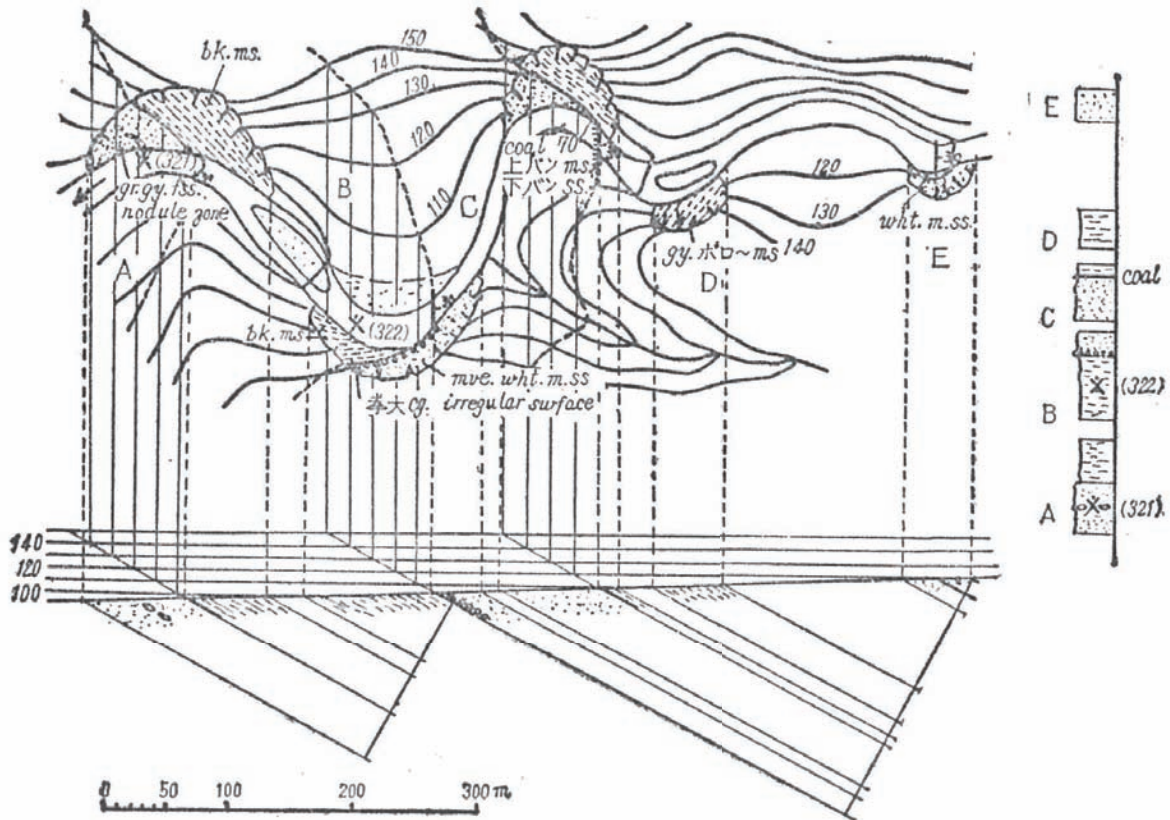


図-3 ルートマップから断面図及び地質柱状図を作成した例 (湊ら, 1976)

私たちが従事する応用地質の分野に必要な記載項目を挙げてみると次のようになります。

表層土質 (礫・砂・粘土・碎屑物の割合, 厚さ, 締り具合, 礫の大きさと形状, 基質の粒度, 含水状態, 転石の安定性), 岩質 (岩種, 硬軟の度合), 地質構造 (走向傾斜, 堆積状況, 褶曲構造), 割れ目状態 (開口程度, 走向, 傾斜, 間隔, 連続性, 密着性, 挟在粘土の有無, 斜面の角度, 水のしみ出し, 湧水), 風化変質 (規模, 分布, 軟らかさ, 粘土化, 湧水状況, まさ, 変朽安山岩, 蛇紋岩, 温泉変質, 斜面との角度), 断層破碎帯 (走向, 傾斜, 範囲, 破碎の程度, 幅, 充填物の状態, 粘土の挟在の有無, 水のしみ出し, 湧水, 斜面との角度), 表面水 (湧水の位置, 水温, 量, 圧力, 帯水層, 遮水層, 地下水・表面水の位置および分布, 凍結融解の状況, 飲料水, 灌漑用水) などが考えられます。

このうち, 構造物の基礎調査など土木地質の地表地質踏査におけるルートマップの記載で特に留意しなければならないのは, 風化現象の把握です。

一般的な踏査では地質構造, 地層層序などの正確な記載が求められるため, 土木地質で不可欠な風化や侵食に関する情報が手薄になります。つまり, 地盤が今どうなっていて, 今後どうなるかと

いう観点に基く記載が大切で, 地表部での岩石の風化過程の把握及びこの結果として表れる地形をどの様に捉え, どの様に解析していくかという判断が求められます。このため, これらの判断材料となる割れ目状況や湧水, 粘土化などの風化・変質状況の観察記録が特に重要となります。

図-4 は地すべり斜面の地表地質踏査図の例を示したものです。この図では岩種, 走向傾斜などの露頭情報に加えて湧水, 地表の割れ目, 陥没, ガリー侵食など地すべりの範囲や方向を特定するための地形情報が多く記載されています。また, 斜面上で正確な位置を知るために高度計やハンディ GPS などの使用も効果的です。

4. 地表地質踏査による検証

地質学が実証学であると同時に科学であることの理由のひとつとして, 多くの場合, 結論を引き出すために観察 (課題抽出), 仮説, 確認 (実験), 検証という手順を踏むことが挙げられます。

たとえば地表地質踏査の場合, 先の図-2 や図-3 を例にとると, 堆積岩地域では手前の露頭を観察して地質構造や鍵層を確認する (課題抽出), 先の

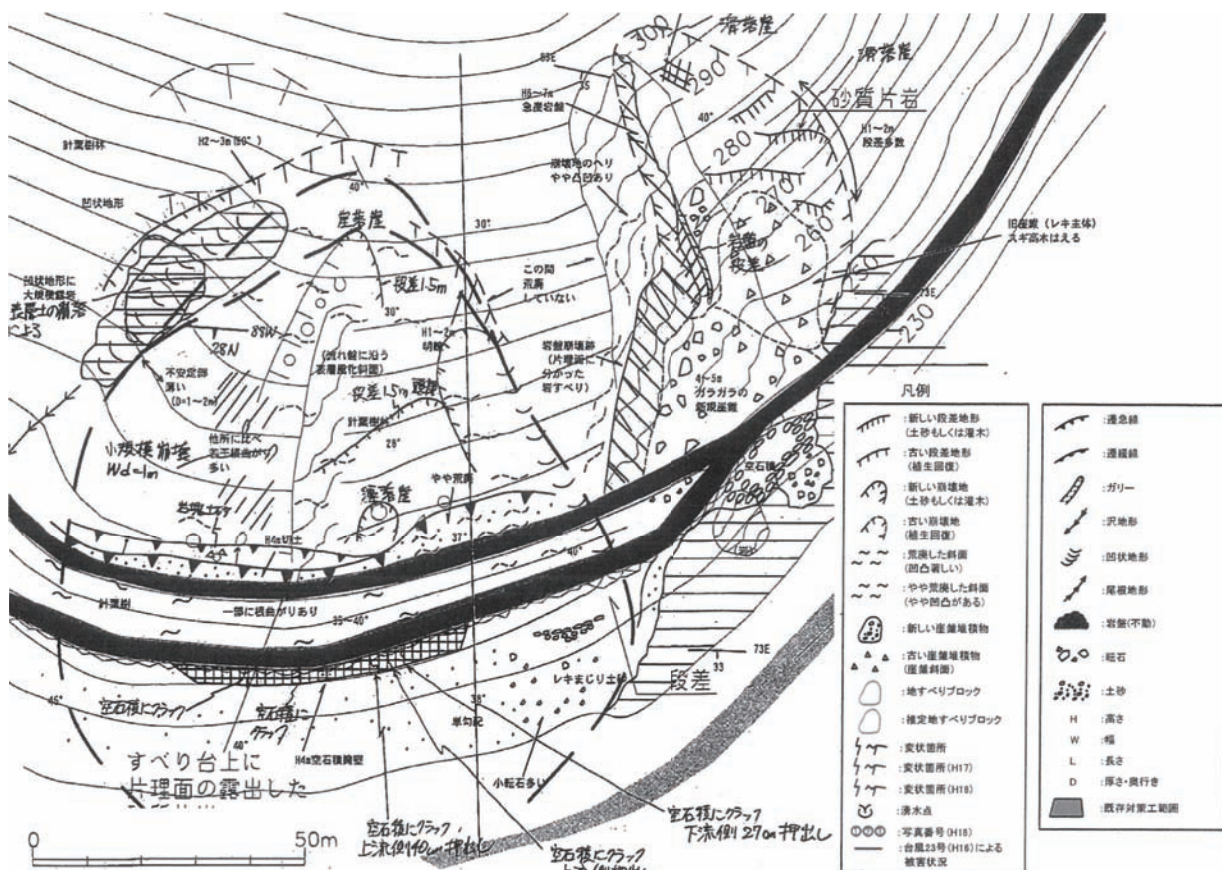


図-4 地すべり斜面の地表地質踏査図の例

ルート上における鍵層の出現を推測する（仮説）、先の露頭を調べる（観察）、鍵層の有無や構造を確認する（検証）という手順になります。以下に、検証の例として断層及び地球規模の生物大量絶滅を挙げてみます。

4.1 断層

断層という言葉は、もともとイギリスの炭田で生まれました。イギリスの炭田は水平に広がっていることが多く、一般に採掘は水平に行われるのですが、断層のあるところで突然石炭層がなくなります。これが at fault で見失ってしまうという意味です。

断層面に沿って前進して行き、もとの石炭層が見つかればこれが normal fault（正断層）であり、断層面にそって逆の方向へ掘って石炭層が見つかれば reverse fault（逆断層）になります。

写真-2は糸魚川-静岡構造線の逆断層の例ですが、このような規模の大きい断層でなくても数mの変位があれば、先に記した露頭における確認過程の仮説で推定した場所に鍵層が現れない場合が考えられます。

断層や褶曲などの大きな構造変化を疑う必要が

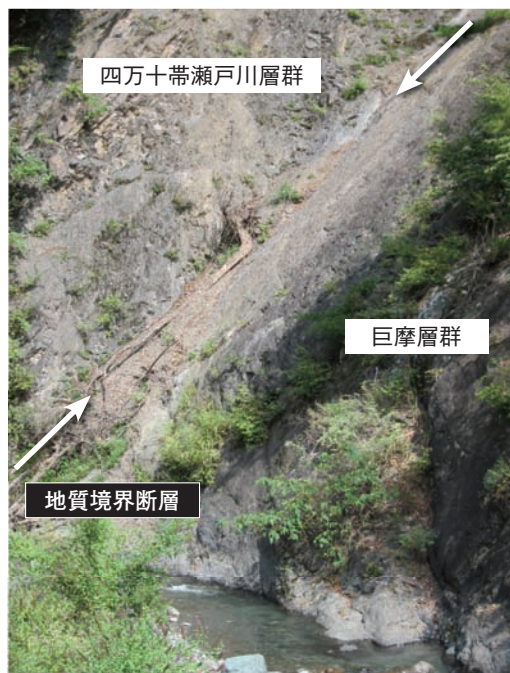


写真-2 糸魚川-静岡構造線の露頭（山梨県早川町新倉）

あり、断層位置を推定する新たな仮説、検証作業に入ります。これらのワクワクする作業が踏査の醍醐味と言えます。

4.2 2億5千万年前の大量絶滅

白亜紀末の恐竜絶滅は良く知られていますが、

実は三畳紀後期にも大規模な生物大量絶滅がありました。この時期のペルム紀 (Permian) と三畳紀 (Trias) の境界を、P/T 境界と呼んでいます。

ペルム紀末、つまり P/T 境界の生物大量絶滅は地球の歴史の中で最大で、海棲無脊椎生物種の約 90% が絶滅したと言われています (磯崎, 2009)。

絶滅の原因については諸説あるのですが、この境界を挟んで連続的に地層が露出している場所が地球上でほとんど見つからなかったため、これまで確かな証拠は見つかっていませんでした (八尾, 2006)。

その後、日本では地表地質踏査によって愛知県の犬山、岐阜県の赤坂、宮崎県の上村などで石灰岩、チャート、ドロマイトなどに挟まれた粘土岩が見つかり、含有鉱物分析の結果から貧酸素状態 (スーパーアノキシア) の海底で堆積した岩石だと考えられています (八尾, 2006)。

つまり、P/T 境界の生物大量絶滅の原因の詳細は不明ですが、可能性として隕石の衝突や火山爆発などによる酸欠状態が起きたことが考えられます。

数少ない露頭調査の結果から、地球規模の気候変動や生物大量絶滅について論じ、その根拠を得ることができる... なんともワクワクする話です。もともと地質学は工学と違い、億年単位の年代を論じることが多く、さらにロマンが広がるのではないのでしょうか。

5. おわりに

本稿では地質学の原点を紹介しながら、当時から脈々と続く地表地質踏査の手法を振り返ってみました。これらの手法は電子化など多少の進化はあってもハンマーとクリノメーターを用いた踏査スタイルは色褪せることなく、現代における純地学分野の研究はもちろん、応用地質分野でも生き続けています。

読者の方々のほとんどは土木地質に従事されていると思います。仕事の中では構造物基礎としての評価など結論を急がれる場合も多いと思われるのですが、いま一度実証学、科学としての地質学の原点に戻って得られた地質情報を見直し、少しでも不安があればフィールドに戻って露頭を確認する習慣をつけることが重要ではないのでしょうか。

また、時には仕事を離れて露頭の前で数億年間の地球の営みを感じるような機会もぜひ持っていたきたいと考えています。

〈引用文献〉

- 1) サイモン・ウィンチェスター (著)・野中邦子 (訳) : 世界を変えた地図 ウィリアム・スミスと地質学の誕生, 早川書房, 372, 2010
- 2) 服部仁 : 丹那断層と丹那トンネル難工事と二つの大地震 (その 2), <http://www.geosociety.jp/faq/content0433.html>, 2013
- 3) 八木浩司・今泉俊文・澤祥・東郷正美・池田安隆 : 都市圏活断層図, 熱海, D・1-No.333, 2005, 2006
- 4) 久野久 : 旧丹那トンネルと新丹那トンネル, 科学, 32, 397-401, 1962
- 5) (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 : 平成 22 年度海外地質構造調査「プロジェクト選定事前調査 (モンゴル)」報告書, 37, 2011
- 6) 鈴木博之・原田哲朗・石上和良・公文富士夫・中屋志津男・坂本隆彦・立石雅昭・徳岡隆夫・井内美郎 : 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅)「栗栖川地域の地質」, 地質調査所, 54, 1979
- 7) 湊正雄・小池清 : 地質調査法, 古今書院 : 51-130, 1976
- 8) 磯崎行雄 : 遺伝, vol.66, No.5, 514-521, 2009
- 9) 八尾昭 : 大阪府教育センター 野外研修「歴史災害と地球環境の変動を見るー根尾谷断層と犬山チャート」, 平成 17 年度サイエンス・パートナーシップ・プログラム事業「教員研修」報告書 (教 253), 1-17, 2006

各地の博物館巡り

もとぶ 沖縄県本部町立博物館 ～ジオパークの拠点施設を目指して～



沖縄県本部町立博物館／全景

はじめに

美ら海水族館でおなじみの海洋博記念公園へ向かう国道沿いに、中央に半球ドームを持つレンガ造りの落ち着いた佇まいの建物が見えて来ます。これが本部町立博物館です。

昭和57年5月に開館し、今年で31年目を迎えた本部町立博物館は、郷土の文化や自然を広く発信したいという先達の思いが結集して出来た博物館です。今でこそ、自治体が経営する博物館は珍しくありませんが、当時の沖縄としては思い切った事業だったと推察されます。現在では、学校や地域にとって無くてはならない大切な施設となっていますが、ここに来て、「本部半島ジオパーク構想」の拠点施設を目指す、という新たな展開を迎えています。そんな施設をご紹介します。

館内と展示物の紹介

入ってすぐのエントランスホールでは、沖縄を代表する石材の「トラバーチン」が目を引きまします。淡い褐色をした結晶質石灰岩で、サンゴ等の化石を含んでいます（写真1, 2）。トラバーチンは、沖縄地方に広く分布する第四系の「琉球石灰岩」が母材で、国会議事堂建設時に、装飾石材として町内の瀬底島から切り出されています。

建物の中央、ドームの下には、イベントや特別展示などに利用する中央ギャラリーが有り、常設展示室は、これを囲むように3つに区画されています。第1展示室は、「郷土の人々の暮らしと文化」というテーマで、古くは石器から近代までの生活や農・漁業に関する道具や文物が展示されています。中央には海洋文化の象徴である「サバニ」が置かれています（写真3）。



写真1 国会議事堂を飾るトラバーチン



写真2 写真1の拡大、サンゴや貝の化石が見られる



写真3 サバニ（沖縄独特の木造船）。アウトリガーを付ければ、外洋航海も可能

第2展示室は、「郷土の海の生き物たち」をテーマとし、サンゴ礁の生い立ちを造礁サンゴの骨格標本と共に分かり易く紹介しています。また、数十万年ほど昔のサンゴ礁堆積物である「琉球石灰岩」についても紹介されています。

ジオに関する展示は第3展示室がメインとなります。ここでは、「郷土の豊かな自然」をテーマとし、昆虫や動物のはく製標本などの生物系展示物と共に、地形・地質系として、化石や岩石が展示されています。

ジオの展示でもっとも目を引くのが、本部半島の立体模型で、カルストを有する山岳地形や、海成段丘・沖積低地の地形的特徴が一目で理解できます。また、線状模様や地溝帯などの構造的な地形も判読でき、見ていて飽きることがありません（写真4）。



写真4 本部半島の立体模型、北東側から南西方向に向けての鳥瞰

本部半島には、中・古生代の石灰岩が溶解してできたカルスト地形が見られます。特に、お椀を伏せたような円錐カルストと星型ドリーネの組み合わせは、日本本土には無い独特の景観を作っています（写真5）。ここでは、コーナーを設けて、カルストの説明や立体模型を展示しています（写真6）。



写真5 円錐カルストの一例 周囲の低地とは、比高差 30～50 m程度



写真6 カルストの紹介コーナー 各円錐丘には名前が付いている。立体模型もあり、地形が分かり易い。

本部半島の基盤は、秩父帯に属する古生代～中生代の諸岩類から構成されています。これらは付加体の岩石で、海洋プレートに起源を持つ緑色岩、石灰岩、チャート等と、陸側プレート起源の砂や



写真7 海洋プレート由来の岩石とその説明、岩石は左から、緑色岩、古生代の石灰岩、中生代の石灰岩、チャート

泥の堆積岩が混在しています。ここでは、付加体を作る岩石とその生い立ちを紹介しています（写真7）。

化石では、古生代石のフズリナ、中生代のアンモナイト、ハロピア等、本部半島で産出する化石の示準化石としての意義について説明・展示されています（写真8, 9）。



写真8 海中生代石灰岩に含まれるアンモナイト化石



写真9 中生代石灰質シルト岩に含まれるハロピア（二枚貝の一種）化石

おわりに

研究員の方のお話では、「ジオに関する展示はまだまだ足りません。これからどんどん充実させ、ジオパークとして認定されたあかつきには、展示物もさることながら、積極的な情報発信ができる拠点施設に進化させたい」と仰っていました。今年には認定が見送りとなりましたが、是非とも頑張りたいと思っています。読者の皆さんも沖縄島北部を旅行する際は、少し寄り道をして訪ねてみてください。担当がいれば丁寧に解説してもらえます。

開館時間：午前9時～午後6時（平日）
午前9時～午後5時（土・日）

休館日：月曜日、祝祭日 12月29日～1月3日

入館料：無料

お問い合わせ：〒905-0212
沖縄県本部町大浜 874-1
☎ 0980-47-5217

[中央開発（株）沖縄支店 千村 次生]

本部町立博物館までのアクセス



バス：那覇より名護西線で名護バスセンター下車，本部半島線へ乗換え。大浜下車，徒歩3分。
レンタカー：沖縄自動車道許田インター下車，国道58号線～国道449号線（海洋博記念公園向け）。

大地の恵み

群馬県吾妻地域の温泉【ONSEN】

1. はじめに

“伊香保温泉日本の名湯¹⁾”。上毛かるた（郷土かるた）にあるお国自慢である。群馬県には、この伊香保のほか、草津、法師、水上、磯部などの名湯が多く、温泉地が99箇所²⁾にのぼり、この数は全国8位²⁾である。また、自噴湧出量は同6位²⁾で、特に草津は大量に湧出し、江戸時代～明治に発行されていた温泉番付では、最高位（大関）に君臨しつづけていた。当時の番付表（大日本温泉一覧）は、草津温泉番付せんべいについている。今回はこの草津のある吾妻地域の温泉をとりあげる。

2. 吾妻地域の温泉について

図1に吾妻地域の主な温泉を示す。図1には主要な溶存成分量をヘキサダイアグラムで示した。

溶存成分量は、浴場の分析表、温泉宿のHPおよび長野原町資料によったが、泉源や分析の時期により変化があるので注意されたい。吾妻地域の温泉の泉質は、次の①～④に大別され、それぞれ効能が高い。さらに、②は $\text{Na}^+, \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+}, \text{SO}_4^{2-}$ の温川、四万などと、 $\text{Na}^+, \text{Cl}^- < \text{Ca}^{2+}, \text{SO}_4^{2-}$ の川原湯、沢渡、尻焼などに分けられる。また、③の川中温泉はいわゆる石膏泉で、日本三大美人の湯の1つとされる。

- ①酸性泉（草津、万座）
- ②塩化物・硫酸塩泉（川原湯、温川など）
- ③硫酸塩泉（川中、川原畑など）
- ④炭酸水素塩泉（嬭恋など）

次に吾妻地域から5つの温泉を紹介する。



図1 吾妻地域の主な温泉（高崎市と安中市のそれぞれ一部を含む）筆者作成

3. 吾妻地域の温泉から

● 天空のいで湯【万座温泉】

万座は白根山の西、上信越高原国立公園内の標高約1800mに位置する白濁した酸性硫黄泉である(写真1)。現在はプリンス系列であり、映画「私をスキーに連れてって」のロケ地の1つとなった。



写真1 万座温泉 空が青い湯畑

● 「ONSEN」を世界語に【草津温泉】

草津は白根山の東麓にあり、硫化水素を含む強酸性の温泉が大量に自然湧出している。総湧出量毎分32,300リットル²⁾は、温泉地単位での自噴湧出量全国第1位²⁾である。古来、大規模な湯治場として知られ、館林出身の“誇る文豪田山花袋¹⁾”は、温泉めぐり³⁾で吾妻の温泉の中では草津がその帝王、飽くまで男性的と評した。強烈な湯は、特に皮膚病に効くとされる。写真2は湯畑から流れ落ちる源泉である。年間約180万人の宿泊客²⁾があり、湯畑周辺はいつも賑わいをみせる。草津では2007年に「観光立町」宣言がなされ、町長により世界語「ONSEN」が提唱された。



写真2 草津よいとこ 大いなる湯畑

● 川底からの熱い攻撃【尻焼温泉】

尻焼は草津の東方、吾妻川支流白砂川の谷の中にある。群馬県10万分の1地質図⁴⁾によれば(以下、地質状況は同地質図による)、源泉は、安山岩溶岩・凝灰角礫岩互層からなる後期中新世の花敷層分布域にある。尻焼には、旅館が3軒あり、川で入浴できる(写真3)。ただし、川底から所々50℃を超える温泉水が湧いており、油断すると「尻が焼ける」。石のヌルヌルに気をつけながら右岸へ行くと水深が深くなり立湯となる。川原で服を脱いで入る。



写真3 深さと湯温を探る清流の湯

● 湖底に沈む断崖の宿【川原湯温泉】

紅葉が美しい関東の耶馬溪、吾妻溪谷を過ぎJR駅から坂をのぼると川原湯である。源泉は、花こう斑岩ないし石英斑岩の貫入岩体から湧出している。川原湯は、急斜面にへばりついた温泉街であるが、現在は隣接してハッ場ダム建設事業が進行している(写真4)。湛水後、湖底に沈むため旅館は移転することになる。歴史は古く、毎年1月20日に湯かけ祭りが行われる。



写真4 川原湯温泉の上空は架橋中

● 閑静な山あいの温泉【四万温泉】

四万は、国民保養温泉第1号に指定された3温泉の1つである。閑静なたたずまいで、井伏鱒二や太宰治などの文人が滞在した。写真5の積善館本館は県重要文化財に指定されている。源泉は、凝灰質砂岩・泥岩互層からなる中期中新世の四万層分布域にある。



写真5 文豪も愛した“世のちり洗う四万温泉¹⁾”

〈参考文献〉

- 1) 財団法人群馬文化協会：上毛かるた .2010.
- 2) 布山裕一：草津温泉の観光動向と地域づくりへの取り組み. 温泉, 76, p.8-13, 2008.
- 3) 田山花袋：温泉めぐり. 岩波書店, 380p, 2007.
- 4) 群馬県地質図作成委員会：群馬県 10 万分の 1 地質図, 内外地図株式会社, 1999.

[株式会社ダイヤコンサルタント 齋藤 勝]

4. あとがき

吾妻地域には、他にも旅情豊かな温泉が多く、四季折々の美しさと安らぎ、それに素朴な名物（写真6）があります。是非お越しく下さい。



写真6 そして上州名物焼まんじゅう（四万温泉）

各地に残すべき

地形・地質

久井・矢野の岩海と雄橋（広島県）

久井・矢野の岩海（くい・やののがんかい）は、昭和39年6月27日に国の天然記念物に指定されている。また、久井の岩海は平成19年に地質百選に選定されている。



図1 位置図（Google Mapより）

久井の岩海は、広島県三原市久井町東部の宇根山（698.8m）から南東に続く山稜の南側斜面にあり、直径1～7mの花崗岩の岩塊がゆるい傾斜の谷にそって帯状に累積している。宇根山頂部は白亜紀の流紋岩類からなるが、久井岩海の分布域は花崗閃緑岩である。



図2 地質図（産総研20万分の1シームレス地質図より）

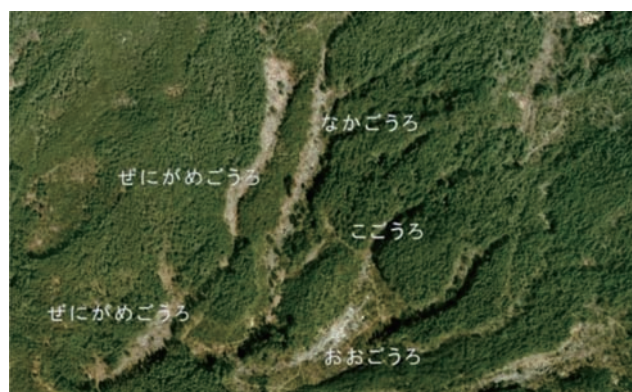


図3 久井岩海の空中写真（1974年撮影国土画像情報より）

岩海は「ごうろ」と呼ばれ、角のとれた岩塊がゴロゴロと、緩い傾斜の谷に敷き詰められたように広がっている。久井岩海は、

ぜにがめごうろ（幅65m、長さ500m）写真1、
なかがうろ（幅35m、長さ400m）、
こごうろ（幅30m、長さ130m）、
おおごうろ（幅90m、長さ350m）から成る。
それらは花崗岩の風化残留核が累積したもので、



写真1 ぜにがめごうろ。いくつかの岩石表面には、風化に伴い亀甲状の割れ目が生じている。



写真2 水音峡。地下から小川のせせらぎが聞こえる。

岩塊の間の細粒分はすでに流失して空洞になっている。「ごうろ」の近くを歩くと足元で空洞の響きがあったり、水も見えないのに岩の下から流水の音が聞こえる所もある。

久井の岩海周辺は公園として整備されていて、見学は容易である。

矢野の岩海は、久井岩海から約15km北の府中市上下町 JR 備後矢野駅の西にあり、標高450m付近に広がっているが規模は小さい。地質は白亜紀の花崗岩からなる。



写真3 矢野の岩海

ここでは北西に向ってゆるく流れる小溪谷に幅約10m、延長約100mにわたって直径2~6mの花崗岩の岩塊が累積している。岩と岩の空隙の底には人がくぐり抜けられるようないくつかの空洞があり、コウモリが生息している。そのため土地の人々はコウモリ岩と呼んでいる。下流の谷周辺は矢野温泉公園四季の里として整備され、キャンプ場等になっていて爽快な環境となっている。

既指定の同種天然記念物では山口県に吉部（きべ）の大岩郷と万倉（まぐら）の大岩郷がある。

雄橋（おんばし）は、広島県庄原市東城町の国指定の名勝「帝釈川の谷（帝釈峡）」にかかる石灰岩の天然橋であり、昭和62年5月12日に国の天然記念物に指定されている。

現地の説明看板によれば、全長90m、幅18m、厚さ24m、高さ40m（川底から）の規模を有し、そばに立って見上げるとみごとな存在感がある（写真4、5）。



写真4 帝釈峡にかかる天然橋「雄橋」

文政8年（1825）に編纂された「芸藩通志」にも、雄橋のことを「神橋（こうのはし）」と題して「帝釈川の下流にあり、兩岸皆山にて、それに跨れる天然の岩橋なり（以下略）」と記されているなど、古くから注目されていた。

雄橋の橋上は、未渡と宇山を結ぶ生活道として古くから使われていたことが、橋上の石仏や古地図からもうかがえる。（現地の説明看板より）



写真5 雄橋の下部

帝釈峡全体も国指定（大正12年3月7日）の名勝である。紅葉の名所として大変人気があり、毎年大勢の人が訪れる。

[基礎地盤コンサルタンツ株式会社 佐藤真悟]

全地連「技術フォーラム2013」について

第24回技術フォーラムが、9月19日(木)～20日(金)の2日間、長野市で開催された。(行事の具体的な内容は、表1参照)

今回のフォーラムでは、「“地質技術者の新たな挑戦” – 防災立国を目指して –」をメインテーマに、地元「関東地質調査業協会」の全面的な協力と国土交通省関東地方整備局、長野県、長野市の後援および独立行政法人土木研究所、独立行政法人産業技術総合研究所、日本情報地質学会、NPO地質情報整備活用機構、一般社団法人日本応用地質学会、地質リスク学会に協賛いただいた。

初日の特別講演会は、京都大学 防災研究所地盤災害研究部門 山地災害環境分野 教授の千木良 雅弘氏に基調講演として「地質災害軽減への新たな見方・考え方」というテーマでご講演いただいた。

表1 行事内容

エリア 1	入場無料	エリア 2	有料
第1日目 9月19日(木) 【受付開始】9:00～ 【開場】9:30～ 会場: 1F メルパルクホール		第1日目 9月19日(木) 会場: 3F 4会場(7セッション51編)	
開会式 10:00～10:30 開会挨拶 (社)全国地質調査業協会連合会 会長 成田 賢 来賓挨拶		技術発表会 13:00～17:00 地下水観測孔、盛土材料/宅地造成、斜面、汚染土壌・地下水、サウンディング、室内試験	
特別講演会 10:30～12:00 「地質災害軽減への新たな見方・考え方」 講師: 千木良 雅弘 氏 京都大学 防災研究所地盤災害研究部門 山地災害環境分野 教授 日本応用地質学会 会長、地すべり学会 理事		会場: 3F 白鳳 III 基調講演 特別セッション 14:45～17:00 「道路のり面斜面の点検とアセットマネジメントの高度化に向けて」 講師: 佐々木 靖人 氏 独立行政法人土木研究所 地質地盤研究グループ(地質チーム) 上席研究員	技術発表会 維持・管理セッション
同時開催展示会(フォーラム会場内で開催されます。) 展示会(入場無料) 3F 白鳳 I 第1日目 9月19日 12:00～16:30 第2日目 9月20日 9:00～15:00		会場: 1F メルパルクホール 技術者交流懇親会 【受付開始】17:30～ 【懇親会】18:00～19:30	第2日目 9月20日(金) 会場: 3F 5会場(15セッション84編) 技術発表会 9:00～15:00 地質リスク、地下水調査、河川堤防、斜面、ダム/ため池、物理探査/孔内計測、物理探査/孔内計測、現地調査、地震/津波、情報伝達、地域地盤特性/動態観測、ケーススタディ

展示会出展者一覧

出展者名	展示内容
システム関連コーナー	
応用リソースマネージメント(株)	地盤調査・解析業務支援システム
(株)ジオファイブ	遠隔放射線監視装置、高分解能鉄筋探査レーダ、地下水流向流速計
ジーエスアイ(株)	地盤情報活用システム、デジタルクリノメーター
中央開発(株)	双方向遠隔自動監視システム「観測王」、斜面崩壊感知センサー「感太郎」、液状化地点における剥取りパネル
(株)藤井基礎設計事務所・(有)シンク・フジイ	ZBのびと、土石流センサー、模型実験
調査・探査機器関連コーナー	
アース・スキャンニング研究会	BIPシステム(ボーリング孔壁観測装置)
曙ブレーキ工業(株)	IT傾斜計、MEMS振動計
応用地質(株)	新型地下レーダー探査システム「ユーティリティースキャンDF」 表面波探査システム「MCSEIS-SW」

出展者名	展示内容
調査・探査機器関連コーナー	
応用計測サービス(株)	カラーカメラシステム、ミニラム、多目的透水試験
自然地下水調査研究所	1m深地温探査機、多点温度検層機、流向流速測定機
(株)測商技研北陸	簡易Webカメラ、Webモニタリングシステム
(株)東京電機	斜面のひずみ監視システム、パイプ歪計、土砂崩壊感知チェッカー
PDCコンソーシアム	ピエゾドライブコーン
リーグルジャパン(株)	地上型3Dレーザースキャナー
特別展示コーナー	
ジオ・ラボネットワーク	ジオ・ラボネットワーク(土質試験協同組合のネットワーク)の紹介
関東地質調査業協会	協会活動紹介
(社)全国地質調査業協会連合会	50周年記念事業の紹介
図書販売コーナー	
古今書院	書籍販売

技術発表会には、若手技術者を中心に全国から135編(表2参照)の応募があり、活発な質疑が行われた。なお、今回の優秀技術発表者賞には、各セッションから選抜された23名が受賞された。(表3参照) 2日間の総入場者数は、約500名となった。平成26年度の技術フォーラムは、東北地区(秋田市)で開催する予定である。

表2 全地連「技術フォーラム2013」長野 技術発表会内容一覧

セッション/発表時間	論文No.	発表者	所属先	地区	題目
A-1 地下水観測孔 9月19日 13:00~14:30 白鳳II	1	黒木 研志	キタイ設計(株)	関西	観測孔仕上げに関する実態調査の結果報告
	2	酒井 信介	(株)阪神コンサルタンツ	関西	地下水調査のための観測孔設置方法に関する室内実験的一考察(2)
	3	五十嵐 慎久	キタイ設計(株)	関西	地下水調査のためのボーリング孔のフィールド実験の事例(H25-1)
	4	宮崎 基浩	芙蓉地質(株)	関東	地下水調査のためのボーリング孔のフィールド実験の事例(H25-2)
	5	足立 直樹	ハイテック(株)	関西	地下水調査のためのボーリング孔のフィールド実験の事例(H25-3)
	6	竹内 篤雄	自然地下水調査研究所	北海道	「地下水観測孔仕上げマニュアル」(案)の提案
A-2 盛土材料/宅地造成 9月19日 14:45~17:00 白鳳II	7	中野 洋平	(株)東京ソイルリサーチ	関東	盛土地の不同沈下の原因調査
	8	中山 義久	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	宅地盛土の劣化と土性の変化
	9	大賀 政秀	(株)ダイヤコンサルタンツ	関東	泥岩を材料とした高速道路盛土の実態調査
	10	松川 尚史	協同組合関西地盤環境研究センター	関西	屋崎城の城壁遺構の構造と地盤特性
	11	東野 圭梧	中央開発(株)	関東	軟弱地盤上の道路橋梁に近接する宅地造成盛土に伴う対策工の検討事例
	12	鶴田 隆文	中央開発(株)	関東	宅地造成等規制法改正に伴う大規模造成地の耐震検討事例
A-3 地質リスク 9月20日 9:00~10:00 白鳳II	13	藤崎 雅史	基礎地盤コンサルタンツ(株)	関東	盛土の安定と材料、勾配、作用条件との関係性について
	14	宮坂 綾	応用地質(株)	関西	地域特性を考慮した大規模盛土造成地の変動予測調査
	15	寺井 康文	大地コンサルタント(株)	北海道	斜面上の橋梁設計における地質リスクマネジメント
A-4 地下水調査 9月20日 10:15~11:45 白鳳II	16	橋本 綾佳	(株)ダイヤコンサルタンツ	北海道	海成泥岩からの重金屬類の溶出特性について
	17	鶴見 昌法	明治コンサルタント(株)	北海道	地下水モニタリング孔の経年変化による取得データへの影響
	18	森友 洋亮	興亜開発(株)	関東	東京都港区における地下水低下現象について
	19	中山 雄貴	(株)東京ソイルリサーチ	関東	東京駅周辺の地下水水位回復状況
	20	御殿 勝	川崎地質(株)	関東	沖積層基底礫層の被圧水頭に与える影響因子について
	21	花澤 史人	(株)東建ジオテック	関東	沖積低地における地下水流向流速測定事例
A-5 河川堤防 9月20日 13:00~15:00 白鳳II	22	原田 あゆ子	応用地質(株)	九州	佐賀県東名遺跡における保存対策工法とその効果について(続報)
	23	石井 啓滋	(株)レアックス	北海道	トンネル掘削に伴う地下水影響評価において不確実性を考慮した解析事例
	24	佐々木 政和	川崎地質(株)	関西	ボート式カメラを使用した樋門における函内点検方法について
	25	町田 敦	(株)アサノ大成基礎エンジニアリング	東北	河川堤防でのSH型貫入試験の適用
	26	野尻 峰広	川崎地質(株)	九州	レーダ探査を用いた排水機場吐出樋管の空洞調査設計事例
	27	村田 和則	サンコーコンサルタンツ(株)	関東	被災堤防緊急対応のための3次元可視化
B-1 斜面I 9月19日 13:00~14:30 白鳳III	28	塚本 将康	川崎地質(株)	関東	大規模河川堤防における潤滑化調査の一例
	29	多田 浩二	中央開発(株)	関東	河川堤防において発生した法面崩壊の原因究明のための地盤調査
	30	西垣 直毅	基礎地盤コンサルタンツ(株)	関東	築堤履歴を考慮した浸透流解析の再現性について
	31	齊藤 龍太	(株)藤井基礎設計事務所	中国	高速道路点検で見えられた岩盤斜面の変形機構
	32	駒崎 友晴	(株)ソイル・プレーン	中国	断層に起因した岩盤地すべり対策例
	33	小川 晋典	総合地質コンサルタンツ(株)	関東	地すべり頭部における層別地下水水位観測結果と斜面変動の関係
【特別セッション】 B-2 維持・管理 9月19日 14:45~17:00 白鳳III	34	山本 茂雄	中央開発(株)	九州	九州北部豪雨災害における結晶片岩地すべりについて
	35	栗林 正樹	川崎地質(株)	関東	多治見地域における集中豪雨に伴い多発したのり面災害の特徴
	36	山岡 博	(株)ダイヤコンサルタンツ	九州	九州北部豪雨による福岡県内の道路災害について
	37	竹田 知史	(株)日さく	北陸	地すべり調査における地上型レーザープロファイラの活用事例
	38	原 勝宏	川崎地質(株)	東北	地形解析及び動態観測による地すべり変動範囲解析事例
	39	若山 智司	(株)ダイヤコンサルタンツ	関東	GIS機能を備えた地質・地盤データベースの事例
B-3 斜面II 9月20日 9:00~10:00 白鳳III	40	宮崎 政幸	総合地質コンサルタンツ(株)	関東	ライントランスекト法による植生調査と簡易貫入試験を組み合わせた斜面調査事例
	41	加賀 匠	中央開発(株)	関西	土石流発生渓流における地質調査事例
	42	西岡 佑介	中央開発(株)	関東	落石危険度判定における3次元写真計測を用いた斜面転石の形状把握について
	43	新屋 麻美	(株)アサノ大成基礎エンジニアリング	関東	対策設計を見据えた斜面調査
	44	久野 高明	基礎地盤コンサルタンツ(株)	東北	肘折温泉郷にて発生した地すべりと道路復旧のための地盤調査の紹介
	45	松場 康二	(株)ダイヤコンサルタンツ	四国	豪雨に伴って変状が発生したのり面の調査解析事例
B-4 斜面III 9月20日 10:15~11:45 白鳳III	46	矢野 健	川崎地質(株)	中部	急傾斜地の山腹崩壊における調査の事例報告
	47	千葉 伸一	応用地質(株)	関東	平成23年長野県北部の地震による栄村中条川上流で生じた大規模崩壊の崩壊機構
	48	井崎 雄介	川崎地質(株)	九州	活動的地すべりの動態観測事例
	49	三浦 誠司	中央開発(株)	関東	傾斜センサー、伸縮計及び孔内傾斜計による被災斜面の監視事例
	50	松垣 公治	日本地研(株)	九州	先行掘削併用型排水パイプ打込み工法について
	51	剣持 淳二	日本総合建設(株)	関東	老朽化した集水井の維持管理手法について
B-5 斜面IV 9月20日 13:00~15:00 白鳳III	52	藤井 真男	(株)東建ジオテック	関東	破損した集水井工を一部復旧した事例
	53	弘田 朋志	(株)相愛	四国	グラウンドアンカー工の面的調査及び材料試験の事例について
	54	林 敦史	(株)日さく	関東	汚染土壌掘削工事に伴う排水の現場における水処理管理
	55	杉野 康博	(株)ダイヤコンサルタンツ	中部	高pHトンネル湧水の検討事例
	56	荻山 慎一	(株)日さく	関東	油汚染サイトにおける観測井内の油層厚変動および油類の回収
	57	廣田 勲	明治コンサルタント(株)	関西	油田地帯における自然由来鉱油汚染の事例紹介
C-1 汚染土壌・地下水 9月19日 13:00~14:30 白鳳IV	58	今田 真治	(株)エイト日本技術開発	中国	自然由来重金屬類の濃度分布における特徴
	59	掛川 智仁	中央開発(株)	関東	土壌汚染対策法の改正に伴う浄化技術への取り組み
	60	本間 祐介	明治コンサルタント(株)	関東	標準貫入試験における打撃回数測定間隔の妥当性について
	61	奈須 徹夫	(株)ワイビーエム	九州	動的コーン貫入試験用新型サンダーの開発
	62	谷内江 敬太	北海道土質コンサルタンツ(株)	北海道	簡易動的コーン貫入試験器の改良について
	63	森本 崇	北海道土質コンサルタンツ(株)	北海道	簡易動的コーン貫入試験の適応性について(その3)
C-2 サウンディング 9月19日 14:45~17:00 白鳳IV	64	高瀬 晶弘	(株)サクセン	関東	地盤変状調査における簡易動的コーン貫入試験の適用
	65	安藤 貴史	東邦地水(株)	中部	陸成沖積粘性土におけるサウンディングの比較事例
	66	信本 実	応用地質(株)	関東	宅地の液状化評価を目的とした μ PDCの開発
	67	吉澤 大造	応用地質(株)	関東	ピエゾドライブコーンによる細粒含有率の推定に関する打撃速度の影響検討
	68	川久保 昌平	川崎地質(株)	関東	ポアホールジャッキ試験による地圧の逆解析

(表2のつづき)

セッション/発表時間	論文No.	発表者	所属先	地区	題 目
C-3 ダム/ため池 9月20日 9:00~10:00 白鳳IV	69	久木原 峯隆	応用地質(株)	東北	平成20年岩手・宮城内陸地震後の胆沢ダム貯水池斜面における地すべり再評価について
	70	飯田 誠	川崎地質(株)	関西	貯水池底質層の分布と性状について
	71	澁谷 奨	(株)地圏総合コンサルタント	四国	Aダム貯水池の堆砂特性
	72	竹林 剛	中央開発(株)	中部	ダム再編事業における調査事例
C-4 物理探査/孔内計測 I 9月20日 10:15~11:45 白鳳IV	73	山本 勇	大地コンサルタント(株)	北海道	ポアホールカメラ観察における現地調査での工夫
	74	久保田 隆二	川崎地質(株)	関東	デジタルIC温度センサを用いた線熱源法による地盤有効熱伝導率検層装置
	75	小泉 和広	(株)ダイヤコンサルタント	関東	埋設されたプレストレストコンクリート管(PC管)の劣化と調査診断について
	76	中村 敏明	(株)ダイヤコンサルタント	関東	高周波衝撃弾性波法による杭基礎の評価
	77	三浦 崇志	(株)東京ソイルリサーチ	関東	変状が発生した建物基礎の根入れ深度調査事例
	78	竹田 好晴	応用地質(株)	関西	埋設物探査における地中レーダ探査結果と試掘調査結果の比較事例
C-5 物理探査/孔内計測 II 9月20日 13:00~15:00 白鳳IV	79	岩崎 和彦	応用地質(株)	北陸	住宅建設中に発見された埋立廃棄物の地中レーダ探査による分布把握調査
	80	神山 裕幸	上山試験工業(株)	北海道	スメクタイトを含む堆積軟岩の性状と膨張性地山の分布の推定
	81	五家 康宏	(株)ダイヤコンサルタント	東北	花崗岩地帯における物理探査を用いた断層調査の事例
	82	青野 泰大	サンコーコンサルタント(株)	関東	東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設整備地区におけるハイドロフォンVSP探査
	83	永野 修一	応用地質(株)	関東	微動アレイ探査を用いたS波速度構造の推定
	84	萩原 協仁	基礎地盤コンサルタント(株)	中部	海岸堤防の耐震性能照査における微動アレイ探査の適用事例
	85	赤澤 貴	川崎地質(株)	関東	チャープ式レーダ探査について
	86	鈴木 敬一	川崎地質(株)	関東	宇宙線ミュオン粒子を利用した簡易な大深度空洞探査
D-1 地下資源 9月19日 13:00~14:30 瑞 鳳	87	朴 春澤	ハイテック(株)	関西	農業ハウスにおける地中熱源空調システムの構築
	88	会津 隆士	(株)日さく	中部	地下水利用空調システムにおける還元井戸能力の検証について
	89	石田 泰則	(株)エイト日本技術開発	関東	沖縄県宮古島市水道水源流域における塩水侵入検討に係わる調査事例
	90	谷本 裕則	川崎地質(株)	関西	酒造用井戸代替水源の検討
	91	日下田 亮	川崎地質(株)	北海道	既設井戸の多い地域における地下水開発に係わる調査事例
D-2 室内試験 9月19日 14:45~17:00 瑞 鳳	92	宮澤 育江	(株)サクセン	関東	影響を考慮した地下水開発および影響調査について
	93	長谷川 祐一	興亜開発(株)	関東	液性限界試験に用いる含水比調整用の水の塩分濃度について
	94	京野 修	応用地質(株)	北陸	連続加圧方式による広島まさ土の保水性試験結果 ー連続加圧法と段階加圧法の比較ー
	95	小林 義宗	北海道土質試験協同組合	北海道	高含水比粘性土のコーン指数試験結果について
	96	池田 謙信	中部土質試験協同組合	中部	締められた中間土のせん断特性に関する圧密圧力の影響について
	97	岩下 溪	基礎地盤コンサルタント(株)	関東	コンパクトな空圧式繰返し三軸試験装置
	98	佐竹 秀一	基礎地盤コンサルタント(株)	関東	排水条件、強度の比較的大きな地盤材料の繰返し変形特性試験方法
	99	松崎 公一	関東土質試験協同組合	関東	岩石(硬岩)の圧縮試験におけるひずみゲージの貼付位置に関する考察
	100	島田 徹也	基礎地盤コンサルタント(株)	中国	サンプリング手法による液状化強度試験結果事例について
	101	栗原 朋之	中央開発(株)	関東	大口径サンプリャーによる乱れの少ない試料の採取事例
D-3 現地調査 I 9月20日 9:00~10:00 瑞 鳳	102	眞本 悠一	(独)海洋研究開発機構	関東	南海トラフ海域における小径ロータリーコアパーレル性能確認試験の事例
	103	松永 浩誌	日本エルダルト(株)	中部	孔内傾斜計設置時の工夫について
	104	長藤 亮輔	(株)日さく	中部	領家帯片麻岩の地質状況とボーリング掘削時の孔曲りについての考察
	105	石黒 彦彦	(株)エイト日本技術開発	中部	破砕質な地質での地山P波速度の考察
	106	高安 健太郎	(株)アサノ大成基礎エンジニアリング	関東	高速道路トンネル切羽における先進ボーリングと岩盤評価
	107	西川 力	中央開発(株)	関西	トンネル岩盤崩落現場における地質調査事例
	108	小川 光喜	(株)ジオファイブ	関東	放射線遠隔監視装置の開発と適用例
	109	下畑 克洋	(株)レアックス	北海道	大口径カメラシステムを用いた管内観察手法の紹介
D-4 現地調査 II 9月20日 10:15~11:45 瑞 鳳	110	室山 拓生	川崎地質(株)	関東	那珂湊地域における液状化危険度評価
	111	山本 伊作	(株)地盤試験所	関東	液状化が発生した地盤の液状化調査
	112	細久 卓志	中央開発(株)	関東	液状化地点におけるトレンチ実施事例について
	113	河村 佳典	応用地質(株)	東北	流動的すべり崩壊が発生した造成宅地の変状メカニズム
	114	西 俊憲	基礎地盤コンサルタント(株)	東北	地震で発生した人工地盤の変状
	115	中川 明	川崎地質(株)	関東	地震動を受けた谷埋め盛土の補強対策
	116	石幡 和也	新協地水(株)	東北	東日本大震災で発生した瓦礫の地盤材料特性と再利用の方法について
	117	大藪 剛士	応用地質(株)	四国	ソリトン分裂波を考慮した津波シミュレーション
D-5 地震/津波 9月20日 13:00~15:00 瑞 鳳	118	安藤 潤	川崎地質(株)	関東	GISを活用した津波シミュレーションシステムの開発
	119	諸星 哲也	基礎地盤コンサルタント(株)	中部	山岳地すべりに関する自動観測の導入
	120	杉原 普作	中央開発(株)	関西	洪水時における鉄道橋脚部洗掘への影響監視事例
	121	杉原 正樹	(株)藤井基礎設計事務所	中国	隠岐豪雨による土石流発生後の緊急対応と防災学習会
	122	藤井 俊逸	(株)藤井基礎設計事務所	中国	子供たちに伝えよう「土砂崩れを防ぐための土木技術者の役割」
	123	田澤 教	川崎地質(株)	関東	東アジア地域の都市部で行われた地震防災に関する地質調査事例
E-4 地域地盤特性/動態観測 9月20日 10:15~11:45 飛 翔	124	内野 隆文	(株)カミナガ	九州	眉山前壊堆積物の性状について
	125	池田 政人	中央開発(株)	九州	サンゴ礁浸じり土の乱れの少ない試料採取事例
	126	北澤 浩二	(株)ダイヤコンサルタント	北陸	双曲線法による沈下解析に関する一考察
	127	佐藤 裕之	トキワ地研(株)	北海道	中間土の土質区分と盛土基礎地盤としての挙動
	128	田中 淳	基礎地盤コンサルタント(株)	九州	佐賀平野における軟弱地盤上道路盛土の動態観測結果について
	129	井上 直孝	(株)キタック	北陸	動態観測結果を還元した地盤改良設計について
E-5 ケーススタディ 9月20日 13:00~15:00 飛 翔	130	伊藤 太久	中央開発(株)	東北	被災した造成盛土における土質調査事例
	131	小室 祐久	明治コンサルタント(株)	北陸	松くい虫被害木調査 ー被害木に到達するための工夫ー
	132	西塚 大	(株)ドーコン	北海道	地下壕跡の調査手法について
	133	石渡 哲夫	川崎地質(株)	北陸	埋立て護岸における埋立て土砂圧縮量の推定事例
	134	横田 幸治	応用地質(株)	九州	風化凝灰角礫岩における構造物基礎の支持力評価に関する考察
	135	小島 幹生	(株)ダイヤコンサルタント	関西	地盤・構造物のトラブル処理

表3 優秀技術発表者賞 受賞者一覧

セッション名	論文No	発表者	所属先	地区	題 目
A-1 地下水観測孔	2	酒井 信介	(株) 阪神コンサルタンツ	関西	地下水調査のための観測孔設置方法に関する室内実験的一考察 (2)
A-2 盛土材料/宅地造成	11	東野 圭悟	中央開発 (株)	関東	軟弱地盤上の道路橋梁に近接する宅地造成盛土に伴う対策工の検討事例
A-3 地質リスク	15	寺井 康文	大地コンサルタンツ (株)	北海道	斜面上の橋梁設計における地質リスクマネジメント
A-4 地下水調査	22	原田 あゆ子	応用地質 (株)	九州	佐賀県東名遺跡における保存対策工法とその効果について (続報)
A-5 河川堤防	24	佐々木 政和	川崎地質 (株)	関西	ボート式カメラを使用した樋門における函内点検方法について
B-1 斜面Ⅰ	33	小川 晋典	総合地質コンサルタンツ (株)	関東	地すべり頭部における層別地下水位観測結果と斜面変動の関係
B-2 維持・管理	38	原 勝宏	川崎地質 (株)	東北	地形解析及び動態観測による地すべり変動範囲解析事例
B-3 斜面Ⅱ	41	加賀 匠	中央開発 (株)	関西	土石流発生渓流における地質調査事例
B-4 斜面Ⅲ	47	千葉 伸一	応用地質 (株)	関東	平成23年長野県北部の地震による栄村中条川上流で生じた大規模崩壊の崩壊機構
B-5 斜面Ⅳ	50	松垣 公治	日本地研 (株)	九州	先行掘削併用型排水パイプ打込み工法について
C-1 汚染土壌・地下水	54	林 敦史	(株) 日さく	関東	汚染土壌掘削工事に伴う排水の現場における水処理管理
C-2 サウンディング	67	吉澤 大造	応用地質 (株)	関東	ピエゾドライブコーンによる細粒含有率の推定に関する打撃速度の影響検討
C-3 ダム/ため池	72	竹林 剛	中央開発 (株)	中部	ダム再編事業における調査事例
C-4 物理探査/孔内計測Ⅰ	73	山本 勇	大地コンサルタンツ (株)	北海道	ボアホールカメラ観察における現地調査での工夫
C-5 物理探査/孔内計測Ⅱ	85	赤澤 貴	川崎地質 (株)	関東	チャープ式レーダ探査について
D-1 地下資源	92	宮澤 育江	(株) サクセン	関東	影響を考慮した地下水開発および影響調査について
D-2 室内試験	96	池田 謙信	中部土質試験協同組合	中部	締固めた中間土のせん断特性に関する圧密圧力の影響について
D-3 現地調査Ⅰ	101	栗原 朋之	中央開発 (株)	関東	大口径サンプラーによる乱れの少ない試料の採取事例
D-4 現地調査Ⅱ	103	松永 浩誌	日本エルダルト (株)	中部	孔内傾斜計設置時の工夫について
D-5 地震/津波	115	中川 明	川崎地質 (株)	関東	地震動を受けた谷埋め盛土の補強対策
E-3 情報伝達	120	杉原 晋作	中央開発 (株)	関西	洪水時における鉄道橋脚部洗掘への影響監視事例
E-4 地域地盤特性/動態観測	129	井上 直孝	(株) キタック	北陸	動態観測結果を還元した地盤改良設計について
E-5 ケーススタディ	132	西塚 大	(株) ドーコン	北海道	地下壕跡の調査手法について

会 告

地質情報管理士 登録更新について

[平成 25 年度 地質情報管理士資格 登録更新]

現在、下記の通り登録更新申請を受け付けております。更新対象の方は、更新手続きの漏れが無いようにお早めにお手続きください。

申請対象者：平成 22 年度 地質情報管理士資格検定試験に合格し、資格登録した方
平成 22 年度 地質情報管理士登録更新の手続きを行った方

申請受付期間：平成 25 年 12 月 2 日（月）～平成 26 年 1 月 31 日（金）

申請方法：所定の様式に従い申請書類を作成し、全地連宛にメールで提出していただきます。
詳しくは、以下のホームページよりご確認ください。

▶▶▶ http://www.zenchiren.or.jp/jouho_kanrisi/kousin.html

「道路防災点検技術講習会」の開催

全地連で開催しております「道路防災点検技術講習会」につきまして、平成 25 年度の開催は 6 月～12 月までの期間に全国 8 会場で実施し、今年度の開催は終了いたしました。

平成 26 年度の開催につきましては、詳細が決まり次第、全地連のホームページでご案内いたします。

地質リスク学会主催「第 3 回地質リスクマネジメント事例研究発表会」の資料公開について

11 月 22 日に開催いたしました標記研究発表会は、多くの方々にご参加いただきました。本活動は、今後も発注機関様等のご協力をいただきながら進めていく予定です。

■ 開催日時：平成 25 年 11 月 22 日（金） 9：30～16：50

■ 開催場所：飯田橋レインボービル（東京都新宿区）

■ 共 催：地質リスク学会／（社）全国地質調査業協会連合会

■ 後 援：国土交通省国土技術政策総合研究所

■ 協 賛：独立行政法人土木研究所、独立行政法人産業技術総合研究所、NPO 地質情報整備活用機構

■ プログラム：●全体会（9：30～12：00）

・開会挨拶：小笠原正継（地質リスク学会 副会長）

・特別講演 テーマ：地質技術顧問制度を考える：

▶講演 (1)「地質技術顧問の将来像と夢」

渡邊 法美（地質リスク学会 会長 / 高知工科大学 教授）

▶講演 (2)「地質技術顧問制度の実現に向けて」

原 隆史（地質リスク学会 理事 / 岐阜大学 教授）

・地質リスクマネジメント事例研究発表会 優秀論文賞授与式

●第 2 部 事例研究発表会（13：00～16：50）〈全 16 編〉

参加者数：185 名（関係者含む）

講演集：地質リスク学会 HP よりダウンロード ▶▶▶ URL：http://www.georisk.jp/?page_id=555

次回開催：第 5 回事例研究発表会は平成 26 年 10 月 31 日に開催予定

「ボーリングポケットブック（第5版）」の発刊

地質調査技術者の必携図書といえる「ボーリングポケットブック」は、今年9月に第5版を発刊いたしました。

この度の発刊は、前回の発刊から10年ぶりとなり、発刊に際しては新しい技術の技術動向や地盤工学会等の基準改正に対応させるなどの見直しを行いました。

「ボーリングポケットブック（第5版）」
A5判・並製560頁 定価7,350円（税込）
編集 全国地質調査業協会連合会 発行所 (株)オーム社
平成25年9月刊行

購入申込みは、下記のURLをご覧の上、お申込みください。

▶▶▶ http://www.zenchiren.or.jp/book/boring_ver5.pdf

積算説明会の開催

全国標準積算資料（土質調査・地質調査）平成25年度改訂歩掛版（通称：赤本）を今年9月に発行したのを機に、全地連では地区協会との共催で積算説明会を下記の4会場で実施いたしました。

開催日	開催地	地区協会
平成25年11月8日（金）	名古屋市（名古屋ガーデンパレス）	中部地質調査業協会
平成25年11月15日（金）	札幌市（札幌総合卸センター共同会館）	北海道地質調査業協会
平成25年12月9日（月）	高松市（サンメッセ香川）	四国地質調査業協会
平成25年12月10日（火）	東京都千代田区（中央大学駿河台記念館）	関東地質調査業協会

説明会当日は、全地連の会員企業様をはじめ、発注機関や報道機関のご担当者など多数の方々にご参加をいただきました。

なお、赤本の改訂内容につきましては、下記のURLよりご覧いただく事が出来ます。

▶▶▶ http://www.zenchiren.or.jp/sekisan/sekisan_syoukai.html

平成 25 年度 上半期の事業量 503 億円

全地連の受注動向調査結果（平成 25 年度上半期（4 月～9 月））は、次の通りとなりました。

受注動向調査対前年比較表（4 月～9 月）

1. 月別発注動向 (社)全国地質調査業協会連合会

年度別 月別	平成24年度		平成25年度		対前年比(%)	
	件数	金額 千円	件数	金額 千円	件数	金額
4 月	2,506	6,794,530	2,246	9,087,987	89.6	133.8
5 月	2,654	6,587,331	2,351	7,663,460	88.6	116.3
6 月	2,508	6,567,179	2,309	8,821,910	92.1	134.3
7 月	2,547	7,200,212	2,371	9,442,912	93.1	131.1
8 月	2,185	6,866,474	1,922	7,304,336	88.0	106.4
9 月	2,259	6,391,616	1,953	7,983,503	86.5	124.9
計	14,659	40,407,342	13,152	50,304,108	89.7	124.5

2. 地域別発注動向

年度別 地域別	平成24年度		平成25年度		対前年比(%)	
	件数	金額 千円	件数	金額 千円	件数	金額
北海道	1,053	4,580,437	905	5,033,383	85.9	109.9
東北	1,589	5,271,548	1,435	6,716,393	90.3	127.4
北陸	1,293	3,680,654	1,150	5,459,041	88.9	148.3
関東	3,929	9,381,364	3,564	10,962,803	90.7	116.9
中部	1,455	3,354,857	1,296	3,798,334	89.1	113.2
関西	1,344	4,479,247	1,286	4,203,918	95.7	93.9
中国	1,619	2,759,911	1,231	5,029,518	76.0	182.2
四国	753	2,541,572	833	3,449,309	110.6	135.7
九州	1,547	4,079,599	1,404	5,518,625	90.8	135.3
沖縄県	77	278,153	48	132,784	62.3	47.7
計	14,659	40,407,342	13,152	50,304,108	89.7	124.5

3. 発注機関別発注動向

年度別 発注者別	平成24年度		平成25年度		対前年比(%)	
	件数	金額 千円	件数	金額 千円	件数	金額
国等の機関						
国交省(建設)	747	7,043,213	651	9,476,304	87.1	134.5
農林水産省	90	814,579	103	1,347,161	114.4	165.4
国交省(運輸)	75	1,014,217	67	1,059,883	89.3	104.5
(旧)鉄建公団	18	350,950	15	269,483	83.3	76.8
(旧)道路公団	52	563,480	34	459,740	65.4	81.6
(旧)都市基盤	24	161,169	12	108,618	50.0	67.4
その他	260	1,831,140	252	1,990,136	96.9	108.7
小計	1,266	11,778,748	1,134	14,711,325	89.6	124.9
地方公共団体	3,571	15,389,744	3,389	16,403,493	94.9	106.6
民間	9,822	13,238,850	8,629	19,189,290	87.9	144.9
計	14,659	40,407,342	13,152	50,304,108	89.7	124.5

4. その他

項目	件数	金額 千円	件数	金額 千円
海外	7	30,202	3	7,295

項目	件数	金額 千円	件数	金額 千円
土壌地下水汚染調査契約金額	1,199	1,599,873	981	1,270,563

調査対象企業 150社

全地連オートリース制度のご案内

全地連では、自動車リースをご利用しやすい価格帯に設計した全地連会員向けの「全地連オートリース制度」を運営しております。

本制度は、企業単位のリース契約を一つのリース制度に束ねることで、大口割引の適用を実現しました。取り扱い車両は、乗用車をはじめ、バンやトラックなど地質調査の仕事に欠かせない車種をご用意しており、多くの企業からご好評を頂いております。自動車リースをご検討の際は、ぜひ本制度をご活用ください。

〔リースに関するお問合せ〕

オリックス自動車株式会社

TEL：03-6436-6803

FAX：03-6436-6945

担当：リテール営業課 菅原

全地連オートリース制度 特選車のご案内!

全地連加盟の会員の皆様へ。お得な自動車リースのご案内です。

社団法人
全国地質調査業協会連合会

■ 特選車 5年ファイナンスリースの場合 (リース期間は、5年・4年・3年からお選びいただけます)

2010年3月末までの限定価格です。



日産 AD
2WD 1500 DX 2/5人 AT
通常月額リース料25,410円(税込)

特別リース料
20,160円(税込)

通常リース料と比べて総額で
315,000円(税込)お得!



トヨタ ハイエースバン
2WD 5D ロング 標準ルーフ DX 3/6人 ガソリン AT
通常月額リース料38,955円(税込)

特別リース料
30,345円(税込)

通常リース料と比べて総額で
516,600円(税込)お得!



日産 クリッパーバン
2WD ハイルーフ DX 2/4人 660cc AT
通常月額リース料22,890円(税込)

特別リース料
15,855円(税込)

通常リース料と比べて総額で
422,100円(税込)お得!



トヨタ プロボックス
4WD 1.5 DX 4AT
通常月額リース料29,820円(税込)

特別リース料
24,570円(税込)

通常リース料と比べて総額で
315,000円(税込)お得!



トヨタ ハイエースバン
4WD 4D Sロング ハイルーフ DX 3/6人 ガソリン AT
通常月額リース料50,085円(税込)

特別リース料
40,110円(税込)

通常リース料と比べて総額で
598,500円(税込)お得!



ホンダ インサイト (ハイブリッドカー)
2WD 5D G MVT
通常月額リース料42,105円(税込)

特別リース料
36,645円(税込)

通常リース料と比べて総額で
327,600円(税込)お得!

上記掲載車種には、オーディオ、ETC、フロアマット、プラスチックパイザー付き。

上記以外の車両についても、国産全メーカー全車種の中から、ご予算や用途に合わせてお選び頂けます。

※掲載のリース料は2009年10月1日現在のリース料です。※上記お支払い額は月額走行距離1500キロの場合のリース料です。※リース料は予告なく変更する場合があります。※掲載のリース料は、オリックス自動車株式会社の独自算定によるものです。※掲載の車両はグレード、ボディカラーと異なる場合があります。※その他メンテナンスのリース料など、お見積りとは異なる場合があります。リース期間終了時は、リース自動車を返却するリース料を、買戻金(1ヶ月分)とするが選択できます。なお、お見積りへのリース自動車の返却はできません。※一貫お取扱いが出来ないメーカー、車種が御座います。※通常リース料とはオリックス自動車株式会社運営のWEBサイト「A5Lウェブライズ」で発表されるリース料です。※審査の結果、リースをお引き受けできない場合がございますので、あらかじめご了承下さい。

買主はオリックス自動車株式会社です。

掲載リース料に含まれる費用

- ・車両代
- ・自動車税(リース期間分)
- ・取得税
- ・自賠責保険料(登録時)
- ・登録諸掛費用
- ・重量税(登録時)



お見積り時にご案内

- ・自動車保険料
(対人・対物・車両保険ほか)



ご希望によりリース料に
含める事ができる費用

- ・重量税(車検時)
- ・自賠責保険料(車検時)
- ・メンテナンス費用

ムタな経費の削減!

業界NO. 1のスケールメリットをリース料に還元

オリックス自動車は、年間約10万台もの車両を購入しているため、安く車を仕入れることができます。その大幅な値引き後の価格をもとにリース料を計算し、車両の導入コスト軽減を可能にしています。

■ 購入の場合

車両購入価格
値引き

■ 自動車リース導入の場合

車両購入価格
(リース料の
対象価格)
大幅に
削減

ここだけ払う

自動車リース導入のメリット

- ① 経費や手間が省けます。
- ② 車両コストが明確になります。
- ③ 資金調達が不要です。
- ④ 資金の有効活用が図れます。
- ⑤ 全額経費処理できます。

(リース資産として資産計上、減価償却が必要となる場合があります)

自動車保険料(対人・対物・車両保険ほか)を含めることで、万一の事故に
また、メンテナンスを含めることで、故障修理の手配と対応を
オリックス自動車にて24時間365日対応いたします。

全地連-1-200910

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震から、もうすぐ3年が経過しようとしています。この地震では、岩手県から神奈川県に及ぶ広い範囲で液状化が発生し、関東地方においては1都6県、96の市町村が被災しました。被災家屋は27,000戸に達し、関東地方では東京湾臨海地域や利根川沿いを中心に19,000戸の被害が発生し、液状化の面積は東京湾臨海部だけで42km²に及びました。

現在、東京湾岸エリアの浦安市や千葉市など、利根川沿いの潮来市、香取市、神栖市、稲敷市などにおいて、市街地液状化対策事業計画の策定、対策効果確認のための試験施工などが実施されている状況にあります。これらの事業を遂行していくためには、液状化被害を受けられた方々に、今後の液状化に関するリスク、それに対する備えの必要性を丁寧に説明し、事業に同意していただく必要があります。

このような背景を踏まえ、今回の地質と調査第138号におきましては、小特集として「液状化」を

取り上げることにし、液状化現象に関する最新の技術的な知見を読者の皆様にご提供したいと考えました。

総論は、東日本大震災以降の液状化に関する研究、調査、対策等の現状と展望を東京大学の東畑教授にまとめていただきました。小特集の構成は3部構成とし（歴史に見る液状化現象、サウンディングによる最新の液状化調査手法、最新の液状化対策技術）、各分野の専門家の方に執筆頂きました。東日本大震災からの復興はまだまだ十分ではありません。更に、将来生じる可能性の高い、東海、東南海、南海地震、更に首都圏直下地震に対する液状化対策を含めた減災対策が急ピッチでなされる必要性が高まっています。

最後になりましたが、今回原稿を執筆していただいた方々に対し、ご多忙中にもかかわらず本号の発行に協力いただきました事に対しまして、心から感謝申し上げます。

(2013年11月 利藤記)

機関誌「地質と調査」編集委員会

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

委員長 鹿野 浩司

委員 佐久間 春之、中村 覚、細野 高康、細矢 卓志、三木 茂、利藤 房男、土屋 彰義、山本 聡、池田 俊雄、高橋 暁、中川 直、

各地区地質調査業協会

委員 北海道：鈴木 孝雄 東北：高橋 克実 北 陸：津嶋 春秋 関 東：丹下 良樹 中 部：伊藤 重和
 関 西：東原 純 中 国：向井 雅司 四 国：二神 久士 九 州：佐々木 和彦 沖縄県：長堂 嘉光

一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階 TEL. (03) 3518-8873 FAX. (03) 3518-8876

北海道地質調査業協会	〒060-0003	北海道札幌市中央区北 3 条西 2 丁目 1 (カミヤマビル)	TEL. (011) 251-5766
東北地質調査業協会	〒983-0852	宮城県仙台市宮城野区榴岡 4-1-8 (パルシティ仙台 1 階)	TEL. (022) 299-9470
北陸地質調査業協会	〒951-8051	新潟県新潟市中央区新島町通 1 ノ町 1977 番地 2 (ロイヤル礎 406)	TEL. (025) 225-8360
関東地質調査業協会	〒101-0047	東京都千代田区内神田 2-6-8 (内神田クレストビル)	TEL. (03) 3252-2961
中部地質調査業協会	〒461-0004	愛知県名古屋市中区葵 3-25-20 (ニューコーポ千種橋 403)	TEL. (052) 937-4606
関西地質調査業協会	〒550-0004	大阪府大阪市西区靱本町 1-14-15 (本町クィーパービル)	TEL. (06) 6441-0056
中国地質調査業協会	〒730-0017	広島県広島市中区鉄砲町 1-18 (佐々木ビル)	TEL. (082) 221-2666
四国地質調査業協会	〒760-0067	香川県高松市松福町 2-15-24 (香川県土木建設会館)	TEL. (087) 821-4367
九州地質調査業協会	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東 2-4-30 (いわきビル)	TEL. (092) 471-0059
沖縄県地質調査業協会	〒903-0128	沖縄県中頭郡西原町森川 143-2 (森川 106)	TEL. (098) 988-8350

機関誌「地質と調査」'13年4号 No.138

平成 25 年 12 月 15 日 印刷
 平成 25 年 12 月 20 日 発行

編 集 一般社団法人全国地質調査業協会連合会

〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-5-13 内神田 TK ビル 3 階

発行所 株式会社ジェイ・スパーク

〒102-0082 東京都千代田区一番町 9-8 ノザワビル 7 階 TEL. (03) 3264-7781 FAX. (03) 3264-7782

株式会社ワコー

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-11-7 TEL. (03) 3295-8011 FAX. (03) 3230-2511

印刷所 株式会社 高山

無断転載厳禁

印刷物・Web 上等に本誌記事を掲載する場合は、一般社団法人全国地質調査業協会連合会に許可を受けてください。

300MHz と 800MHz アンテナを一体化した
高性能デジタル地中レーダ装置

geo5

ユーティリティスキャンDF (Dual Frequency)



ユーティリティスキャンDF (米国：GSSI 社) は、300MHz と 800MHz アンテナを同一ケースに収納し、かつアンテナ部にてデジタル変換する 2 周波一体型の高性能デジタル地中レーダです。周波数の異なる 2 つのアンテナを搭載したことにより、1 回の測定で表層付近から深部 (2m 程度) まで、極めて高品質のデータを取得できます。

■ 特長

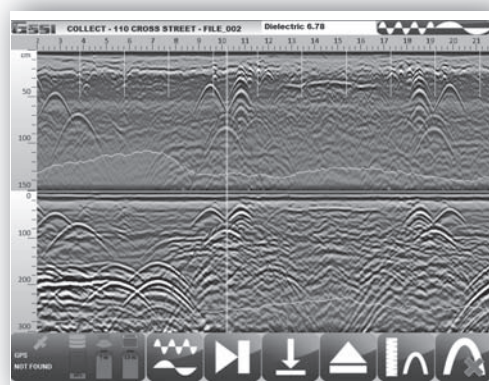
- ・ 2 周波 (300MHz、800MHz) アンテナ搭載により、表層から深部 (約 2m 程度) までを 1 回の走行で探査可能です。
- ・ アンテナ部にてデジタル変換し、ノート PC にデータ集録しますので SN 比に優れた高品質データを取得できます。
- ・ 装置 1 式は、機動性に優れた 4 輪カートに搭載されています。
- ・ Radan-7 ソフトウェア (GSSI 社製) が標準装備されています。
- ・ IP65 に準拠した防水・防塵構造の全天候型システムです。

■ 適用・用途

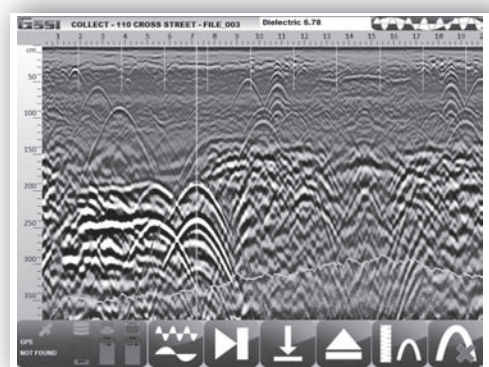
- ・ 地下埋設物・埋設管の調査
- ・ 路面下空洞、トンネル背面調査
- ・ 護岸、堤防調査、埋蔵文化財・遺跡調査等



* デモ機を用意していますので
お問い合わせ下さい。



300MHz データと 800MHz データの分割表示例



300MHz データと 800MHz データのブレンド表示例
(同一時間軸に 2 周波データを表示)

株式会社 ジオファイブ

URL <http://www.geo5.co.jp/>

〒336-0931 埼玉県さいたま市緑区原山 1-12-1
TEL 048-871-3511 FAX 048-871-3512
Email sales@geo5.co.jp

■ 業務内容 ■

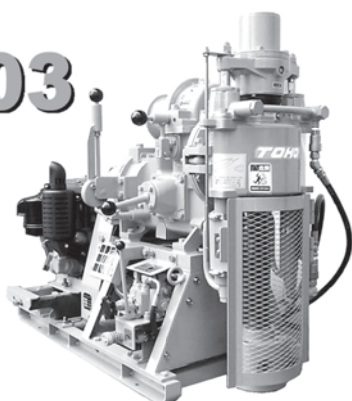
- 計測機器販売 : 地質調査機器・土木計測機器・工業計測機器
- 計測機器レンタル : 地質調査機器及びその他計測機器レンタル
- 計測業務 : 現場計測業務・測定機器設置・3D 計測業務
- 計測機器設計製作 : 各種地盤計測機器の設計製作



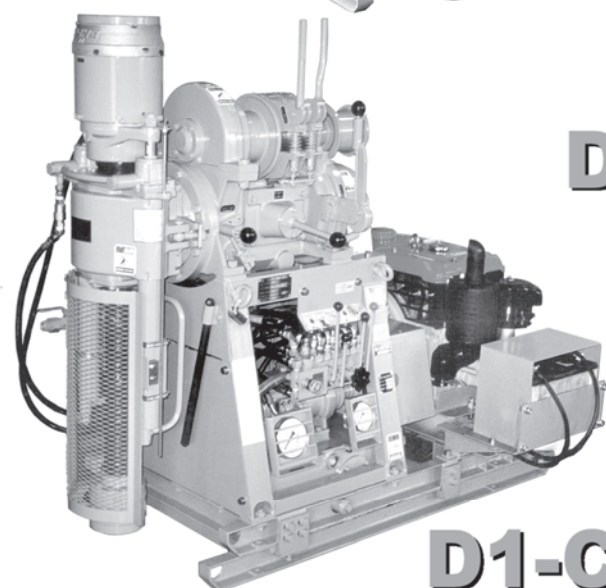
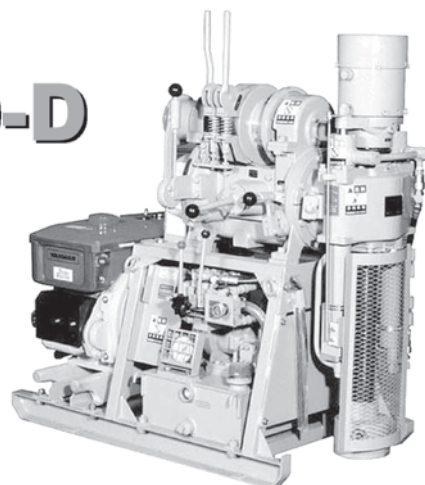
TOHO
DRILLING EQUIPMENT

小型ボーリングマシン

DM-03

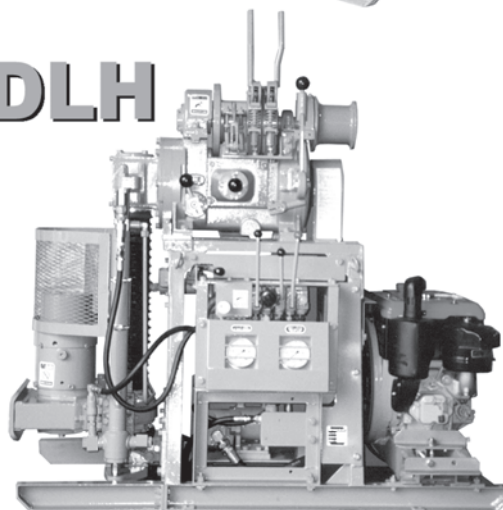


D0-D



D1-C

D0-DLH



試錐機には小型ボーリングポンプが内蔵できます。(DM-03を除く)

機種名		DM-03	D0-D	D0-DLH	D1-C
穿孔能力	m	30	100	100	280
回転数	min ⁻¹	65,125,370	(A)60,170,330 (B)110,320,625※	(A)60,170,330 (B)110,320,625※	(A)65,130,170,370 (B)90,170,320,490※
スピンドル内径	mm	47	43	43	48,58
ストローク	mm	300	400,500※	500	500
巻上げ力	kN(kgf)	3.9(400)	5.9(600)	5.9(600)	10.8(1100)
スライド	mm		油圧式300※	油圧式300※	油圧式300
動力	kW/HP	3.7/5	3.7/5	3.7/5	5.5/8
質量	kg	180	315	475	550
寸法	H×W×L mm	960×550×1115	1200×660×1180	1440×890×1415	1390×735×1580

右操作、左操作をご用意しております。 ※はオプションです。



東邦地下工機株式会社

東京都品川区東品川 4-4-7 TEL 03 (3474) 4141
福岡市博多区西月隈 5-19-53 TEL 092 (581) 3031
URL: <http://www.tohochikakoki.co.jp>

福岡 092(581)3031
東京 03(3474)4141
札幌 011(785)6651
仙台 022(235)0821
新潟 025(284)5164
金沢 076(235)3235

名古屋 052(798)6667
大阪 072(924)5022
松山 089(953)2301
広島 082(533)7377
山口 083(973)0161
熊本 096(232)4763

地質調査

通巻138号

●発行所

株式会社ジェイ・スパーク／株式会社ワコー