

地質調査

'06 第 3 号

[小特集] メンテナンス工学

編集 / 社団法人全国地質調査業協会連合会

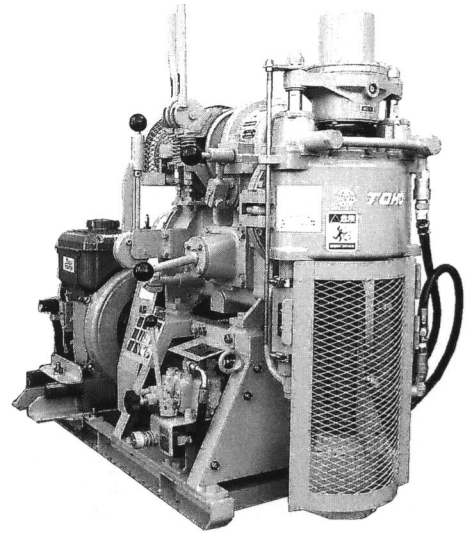
発行 土木春秋社



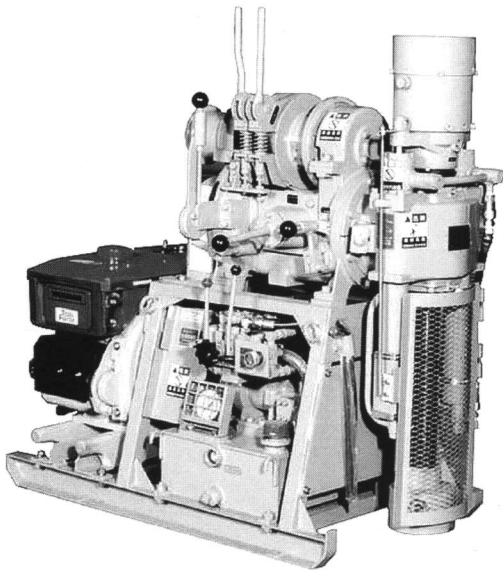
TOHO
DRILLING EQUIPMENT

小型ボーリングマシン

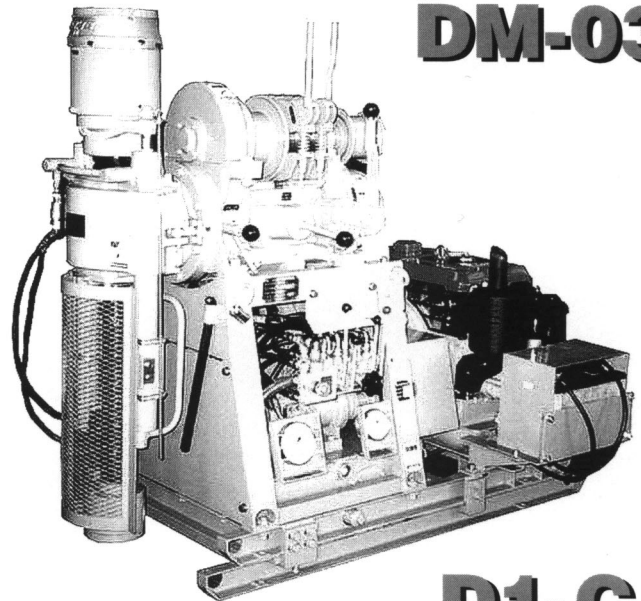
- ニーズに合わせて、ホイストドラムを外し
コーンプリータイプに変更することができます。
- ブーリの交換で地質にあったスピンドル回転数
が選択できます。
- 試錐ポンプが内蔵でき、しかも原動機は1台で
すみます。



DM-03



D0-D



D1-C

仕 様

右操作・左操作をご用意致しております。

機 種 名		DM-03	D0-D	D1-C
穿孔能力	m	30	100	280
スピンドル回転数	rpm	65、125、370	(A) 60、170、330 (B) 110、320、625	(A) 65、130、250、370 ※2 (B) 90、170、320、490
スピンドル内径	mm	47	43	48 ※2 58
スピンドルストローク	mm	300	400	500
ホイスト巻揚げ能力	KN (kgf) 400	3.9 (400)	5.9 (600)	10.8 (1,100)
フレームスライド	mm		※1 油圧式 300	油圧式 300
動 力	kW/HP	3.7/5	3.7/5	5.5/8
質 量	kg	180(本体)	315(本体)	550(本体)
寸 法 H×W×L	mm	960×500×1,115	1,200×660×1,180	1,390×735×1,580

※1 オプション

※2 スピンドル内径58の場合

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.com>

福 岡 ☎ 092(581)3031
 札幌 ☎ 011(785)6651
 仙台 ☎ 022(235)0821
 新潟 ☎ 025(284)5164
 名古屋 ☎ 052(798)6667
 大 阪 ☎ 0729(24)5022

松 山 ☎ 089(953)2301
 広 島 ☎ 082(291)2777
 山 口 ☎ 083(973)0161
 北九州 ☎ 093(331)1461
 熊 本 ☎ 096(232)4763

巻頭言	社会資本のポスト高齢化社会をめざして	京都大学経営管理大学院教授 小林潔司	1
小特集	メンテナンス工学		
	社会資本ストックをマネジメントする メンテナンス工学への期待	三木博史	2
	地盤構造物アセットマネジメントと ジオリスクエンジニアリング	大津宏康	6
	道路斜面の維持・管理のための新しい手法の提案	沖村 孝 鳥居宣之	12
	トンネルを対象とした検査・診断技術の現状	小島芳之	18
	河川堤防を対象とした最新の点検・診断技術	宇野尚雄	24
	宅地造成地の斜面形成史, 災害, メンテナンスー	釜井俊孝	30
車窓から見る地形・地質	首里城	新藤和昌	36
教養読本	道路防災マップを用いた安定度調査箇所の 選定と点検結果の整理	倉橋稔幸 佐々木靖人 矢島良紀 他	38
やさしい知識	アセットマネジメント	大堀勝正	42
大地の恵み	段丘斜面緑地の保全 「板橋サンシティ」住民活動の意味	有賀一郎	44
投稿	品質確保法が地質調査業に期待するもの ～品質向上への連携～	小林恒三	46
私の経験した職場	土壌汚染リスク評価の最前線を経験して	今田真治	50
私の経験した現場	海面下の琉球石灰岩における平板載荷試験と 標準貫入試験	国吉真孝	52
会告	3部門で427名が合格—第41回地質調査技士資格検定試験		57
	平成18年度第1四半期は7.4%増—全地連受注動向調査		62
	地質情報管理士資格検定試験 受験願書受付開始 —新資格制度の発足—		63

小特集 地震に関する最近の話題

地震予知に関する最近の動向

全国を概観した地震動予測地図

地震時の土砂災害に対する危機管理

緊急地震速報・地震観測網の防災対策への利用

高度震災情報生成を目指した統合地震シミュレータの開発

和歌山県における地震災害対策の事例

新潟県中越地震の災害復旧事例

教養読本 フロンティア地震学

やさしい知識 長周期地震動

車窓から見る地形・地質

大地の恵み

各地の博物館巡り

社会資本のポスト高齢化社会をめざして

京都大学経営管理大学院教授 小林 潔 司

中国地方のある山深いまちの町長さんから、「最近、まちの平均年齢が下がりはじめたのですよ。人口が減少してしまっただけで、残った若者がスクラムを組んで町づくりをはじめないといけないのです。」という話を聞いた。日本全体としては、これから団塊の世代が高齢者層に移行し、やがてスーパー高齢化社会が訪れることが懸念されている。しかし、これまでわが国の高齢化社会の先進地であった中国地方の中山間地域では、高齢化社会から、その先のポスト高齢化社会に移行しつつある。平均年齢の低下は、これまで圧倒的に大多数であった高齢者数の減少がもたらした結果である。

まちでは、30年後の将来ビジョンを描く作業に取りかかった。微力ながら、筆者も将来ビジョンづくりのお手伝いをするようになった。30年後の、まちの年齢ピラミッドを描いてみて驚いた。現在のように、高齢者層が団塊として存在しているマッシュルーム型の年齢ピラミッドではなく、鉛筆をたてたような「すっきり」とした年齢ピラミッドが現れたのである。そこで、われわれは、30年後に実現するような年齢構成のバランスをとれた社会を、ポスト高齢化社会と呼ぶこととした。ポスト高齢化社会における持続可能な発展を実現するための鍵は、バランスのとれた年齢構成を維持することにある。そのために、これからは、若者や子育て世代、高齢者予備軍である中年層に重点をおいたまちづくりに重点を移していく。これが、「残った若者がスクラムを組む」という意味である。

近い将来、社会資本に関しても高齢化社会が訪れることが予想されている。すべての社会資本が一時に更新の時期を迎えれば膨大な更新費用が必要となる。日本全体の人口が減少していく中で、新規投資余力がなくなってくる。増加する更新需要をまかなえるかどうかも懸念されている。しかし、社会資本の中には、さらに高度化をめざして計画的な更新が計画されているものもある。膨大な量の耐震投資需要が残されており、その中には緊急な対応が必要となるものがある。さらに、社会資本の劣化の進展には不確実性があり、すべての社会資本が同時に劣化していくわけではない。人間社会と違って、すべての社会資本が同時に歳をとるわけではない。意外と長生きする社会資本も多いだろう。このような計画的な更新、耐震投資の進展、劣化の進行過程の不確実性を考えれば、社会資本に関しては心配

するようなスーパー高齢化社会の到来を避けることは可能だろう。しかし、同時に社会資本の劣化に対して何もせずに放置を続ければ、1980年代にアメリカ合衆国が経験したような社会資本のスーパー高齢化社会が訪れる危険性も極めて高いことも事実である。

社会資本の持続的なマネジメントを実施するためには、バランスのとれた年齢構成（ビンテージ）の社会資本のストックを実現することが重要である。社会資本の高齢化を恐れて、集中的な維持補修や更新投資を行うことは、再び社会資本の高齢化社会を将来つくることにつながる。新規投資、計画的な拡張・更新、耐震投資を通じて、新しい年齢層の社会資本を誕生させることができる。修繕工事を通じて、社会資本の年齢を若返らせることもできる。大事なことは、毎年可能な限り、コンスタントに維持補修を実施し、さまざまな年齢層で構成されている社会資本の社会を持続していくことである。このように社会資本のビンテージのバランスをとれた社会を、人間社会におけるポスト高齢化社会にならって社会資本のポスト高齢化社会と呼んで見よう。

われわれは、ともすれば「木を見て森を見ず」という過ちを犯してしまう。アセットマネジメントの現場では、1つ1つの橋梁、トンネル等、個別の土木施設をとりあげ、ライフサイクル費用を綿密に検討し、望ましい維持補修方策を検討することが多い。もちろん、このようなマイクロなレベルの維持補修方策の重要性は否定すべくもない。しかし、このようなマイクロなレベルのライフサイクル費用の最小化が、社会資本ストック全体のマクロなライフサイクル費用の最小化につながる保証はないことも事実である。粗っぽい議論でもいい。社会資本の計画的な更新投資、今後実施される予定の耐震投資、新規投資と既存社会資本の維持補修を効率的に組み合わせた社会資本の年齢構成を管理していくことが必要である。その上で、更新投資のピークを分散化し、社会資本のポスト高齢化社会をなるべく早い機会に実現することが重要である。人口減少が予想される社会におけるアセットマネジメントの課題は、このまま放置すれば実現する社会資本の高齢化社会から、計画的に社会資本のポスト高齢化社会に移行するための効果的なシナリオを作成し、それを着実に実行していくことである。

社会資本ストックをマネジメントする メンテナンス工学への期待

三木 博史*

1. 国土マネジメントの時代

1.1 建設産業がおかれている時代背景

建設産業は、「大規模建設の時代」から「国土をマネジメント（運営・管理）する時代」に確実にシフトしつつある。

戦後の荒廃した国土の整備の進展と歩調を合わせてきたこれまでの建設の時代を振り返ると、昭和30年代には、道路、治山・治水、下水道、住宅関係の長期計画や五箇年計画が次々と策定され、関連する公団も設立されて、日本の国土整備が本格的な段階に入った。

昭和30年代後半から40年代の日本の高度成長期には、都市化とモータリゼーションの進展とともに、高速道路をはじめとする主要道路が次々と開通した。

石油ショックを経て昭和50年代になると、生活の質が重視されるようになり、国土建設も生活関連施設の整備や環境保全に目が向けられるようになった。続いて、昭和60年代以降には、瀬戸大橋、青函トンネル、関西新空港といった建設技術の高さを誇る大規模プロジェクトが次々と完成していった。

そして、いま、戦後60年間に営々と築き上げてきた国土の整備が成熟期を迎え、建設投資「冬の時代」が到来している。

これは、国の成長の過程で向き合わなければならない社会構造的な現実であり、我々建設産業は、自ら主体的に、産業構造改革を進めるべき時期を迎えている。

1.2 建設（ハード）からマネジメント（ソフト）へ

昨今、社会基盤関連の政策目標として掲げられているのは、「大規模災害等への備え」、「環境の保全と創造」（美しい国土づくり、自然との共生・環境再生、循環型社会の形成）、「都市再生」（広域防災拠点、エコタウン、物流・環状道路体系、既存ストックの活用、密集市街地対策）などであり、社会的技術としての「総合的な防災・環境・基盤再生プロジェクト」に関するニーズが高まっている。

このように、最近の建設産業は、「つくる」時代から国土や流域や既存ストックを「マネジメントする（つかう）」時

代に入ってきており、これからの土木技術者には、従来型の建設技術力に加えて、マネジメント力（総合的構想力、制度設計力、土地利用のあり方を含む地域住民との合意形成・利害調整能力、システム構築力）がより一層強く求められる。

そして、財源に限りがあるなかで、これからは、単なる建設（ハード）からマネジメント（ソフト）への建設投資を増やし、「国土を管理・運営する総合技術」を標榜した産業構造改革を、自ら主体的に進めていく必要がある。

2. 地盤環境工学の社会技術重視の展開

筆者も委員として関わった日本学術会議・社会環境工学研究連絡委員会・地盤環境工学専門委員会報告「地盤環境工学の展開と連携に向けて」(委員長：日下部治東京工業大学大学院理工学研究科教授、平成17年6月)では、地盤環境工学の社会技術重視の展開として、次の3つの視点から今後の技術的課題を整理している。

1) 広域的なりサイクル拠点としての廃棄物海面埋め立処分場の建設・管理・跡地利用技術、汚染土壌の低コスト封じ込め技術、各種産業廃棄物再生材の地盤材料としての利用技術などによる「循環型社会」の構築への貢献

2) 大規模災害を想定した総合的な防災戦略の構築や、地下水・土壌汚染などの地盤環境保全技術の高度化などによる「安心・安全で快適な社会」の構築への貢献

3) 地盤に関係する社会資本としてのトンネル、橋梁基礎、地下構造物、歴史的遺産などの長寿命化に関わる診断・補修・更新技術による「資産保全」（アセットマネジメント）への貢献

このうち、2つ目の「総合的な地盤防災への貢献」と3つ目の「社会資本ストックの資産保全（アセットマネジメント）への貢献」について以下に述べる。

3. 地盤防災への貢献

3.1 期待される地盤防災技術（総論）

我が国は脆弱な地質・地盤構造をもつ災害列島であり、これまで毎年のように災害を経験しながら営々と防災対策

* 独立行政法人土木研究所技術推進本部長 工博

を積み上げてきた。そして、その過程で、地盤防災に関わる個別の要素技術や経験工学としてのノウハウが着実に蓄積されてきている。

しかし、その一方で、首都圏直下型地震や巨大火山噴火あるいは大規模洪水など、過去の経験を超える大規模災害を想定した防災戦略の構築が社会的に強く要請されるようになってきている。

このため、今後、リスクマネジメントの導入と適切な防災システムの構築、ハザードマップの高度化、各種先端技術の災害軽減への積極的利活用、災害情報の高度化など、地盤防災技術のより一層の高度化を継続して推進していくことが必要であり、以下のような技術の高度化が求められている。

① 防災対策の戦略の構築

- ・GIS等を活用した斜面・地盤等のリスクマネジメントシステムの開発
- ・安全な土地利用への誘導手法の開発
- ・土砂災害に対する事前通行規制・警戒避難システム等の高度化
- ・復旧・復興過程の最適化技術の提案

② ハザードマップの高度化

- ・各種災害に関する空間情報データベースの作成
- ・防災GIS構築のための共通フォーマットの整備とソフトウェアの開発
- ・各種土砂災害、地震災害の危険度評価技術の高度化
- ・堤防弱点箇所抽出のための調査技術の高度化
- ・ミクロスケールでの被害想定手法の開発
- ・リアルタイム型のハザードマップ作成手法の開発
- ・ストックデータの情報提供システムの整備

③ 地震による地盤・構造物連成系の破壊過程解明と耐震性評価・補強技術の高度化

- ・耐震設計・耐震点検技術の高度化と開発途上国等におけるローカル材料、ローカル工法を活用した耐震技術の開発
- ・地震時被害抑止技術の高度化

④ 先端技術の災害軽減への積極的利活用

- ・被害想定や災害対応シミュレーション技術の高度化
- ・災害時支援ロボット等の実用化
- ・先端技術の防災分野への円滑な導入と応用プロセスの研究

⑤ 災害情報の高度化

- ・人工衛星、航空機、気象レーダ、地域気象観測システム等を利用した気象の短時間予測システム
- ・斜面崩壊・土石流の発生検知機器の開発・高度化
- ・堤防モニタリングシステムの高度化
- ・地震時の地盤の震動特性の調査・観測技術の高度化
- ・火山災害現象の早期検知技術の開発
- ・探査衛星等による地盤変状の監視技術の開発
- ・土地利用状況のモニタリングシステムの開発
- ・同報無線、テレビ、携帯電話等の多様な手段によるリアルタイム防災情報伝達システムの整備

3.2 地盤調査におけるリスクマネジメント技術

上記のうち、地盤防災に貢献する地質調査技術としては、上記「②ハザードマップの高度化」のための調査技術や、「⑤災害情報の高度化」で取り上げた斜面崩壊・土石流の発生検知、堤防モニタリング、地震時の地盤の震動特性の調査・観測、火山災害現象の早期検知、探査衛星等による地盤変状の監視などを支える調査技術の高度化とその普及が求められている。

特に、地盤災害のリスクを適切に評価・提示し、各種防災対策の投資効果や優先度を明確にすることが必要であり、①ハザード評価技術(抽出)、②影響軽減技術(管理)、③予知技術(監視)、④リスクマネジメント技術(説明責任)の4つの側面からの対応が求められている。

すなわち、地盤災害対策をより一層広い視野から計画的に実施するため、基礎的な地形図の整備をはじめとするデータベースの拡充と、それに基づくハザード抽出支援システムならびにリスク評価による意思決定支援システムの開発・実用化に一層精力的に取り組むことが重要である。

特に、GISを使って災害危険度(ハザード)に対するリスクを予測し、これを評価する手法を開発することは、きわめて多数におよぶ全国の災害危険箇所の防災対策の優先度の決定や、災害発生時の対応などに極めて有効であり、実務への活用が期待される。また、限られた財源を活用して防災対策を行うとき、リスクマネジメントの手法が有効である。リスクを全て定量的に評価することは極めて困難と思われるが、現時点で可能な到達点を見極めるという意味で、有意義である。

さらに、脆弱な国土条件の存在、地盤災害には不可知な部分もあるとの認識、地盤災害全てを予測することは不可能ということなどを国民によく理解されるよう情報発信に努めるとともに、そうした条件や認識のもとで取り組んでいる活動状況や成果をこれまで以上に積極的に情報発信することも重要である。

3.3 河川堤防の例

道路斜面や河川堤防などのような長大な線状構造物では、その不確実性の大ききゆえに、段階的に性能(信頼性)を高めていくのが常道である。このため、供用後の点検や維持管理が極めて重要であり、弱点箇所の抽出やハザードマップの高度化のための調査技術や、崩壊等の発生検知のためのモニタリングなどの地盤変状の監視技術の高度化がますます求められる傾向にある。

(1) 超過洪水対応

これまでの治水事業は、「計画降雨確率」を基本指標とする治水安全度の管理水準の達成を目標としてきており、想定した計画規模までの雨や洪水なら、河道の流下能力と計画高水位までの堤防の安全性についての責任をもつというのが河川管理者の立場である。

その一方で、計画規模を超える雨や洪水による災害や、計画したダム・河道拡幅・河道浚渫・築堤・遊水池等が治水投資の制約から整備途上の場合、計画規模以下の洪水や集中豪雨で氾濫したとしても、河川管理者としての責任

を問われることはなかった。

しかし、昨今の大規模な水害の現状をみると、そのほとんどが「超過洪水」や「整備途上」に起因している。

例えば、平成16年7月の新潟豪雨による洪水災害では、信濃川支川（五十嵐川、刈谷田川）に降雨確率が計画（1/100、350mm/日程度）を上回る1/150（流域平均で400mm/日程度）の希な集中豪雨があったことが直接の誘因となった。上流のダム群がかなり流出を抑制し、人家の少ない上流部での氾濫が、市街化の進んだ中・下流部の氾濫を多少緩和したとはいえ、江戸時代から遊水池であったような低平地に人家が集積してきたことが被害を拡大した。

また、平成16年10月の台風23号による豊岡市の水害は、種々の社会構造的・財政的な制約から、計画高水位に余裕高を加えた計画堤防高が確保できない「整備途上」の暫定堤防区間であったために、降雨確率が計画の1/100を下回る1/40（2日雨量で278mm）の雨で大規模な氾濫が生じたものである。

平成17年9月の東京都善福寺川の氾濫も、計画時間降雨が50mmのところ100mmを超える集中豪雨があったことによるし、台風14号による大規模災害は、降雨の継続時間が20～30時間にも及び、総雨量が異常に増加したことによる。

同様に、米国のハリケーン「エカテリーナ」による大災害も、カテゴリ3対応（計画高潮高3.6m）で造られた堤防に、カテゴリ5（高潮高が5.7m以上）のハリケーンによる外力が加わったことが直接の原因となったとみられる。

このように、自然の猛威は、人間の想定（計画）を上回るのが常であり、現況の治水安全度のもとで、いかに減災するかがいま強く求められている。

（2）河川堤防の技術的課題

河川堤防を例にとると、どこかが破堤すれば一連区間の防災機能が失われるという連鎖系の特徴を有しており、基礎地盤と堤体構造の不均一性に起因する不確実性への対処が大きな課題である。このため、次のような堤防弱点箇所抽出のための調査技術と堤防モニタリングシステムへの期待が大きい。

① 堤防弱点箇所抽出のための調査技術の高度化

堤防をとりまく自然条件、河道の特性、河川管理施設（特に、堤防横断構造物）、および堤防の現況や被災履歴等を十分に把握したうえで、堤防の安全性を概略的、相対的に評価する手法の高度化が求められている。また、堤防の弱点となりやすい構造物周辺のゆるみや空洞等に対しては、適切な点検・計測手法に基づく安全性の評価手法の高度化が求められている。

② 堤防モニタリングシステムの高度化・体系化

堤防の連鎖系としての特徴や不確実性への対処を考えると、従来の水防活動とあわせて、堤防のモニタリング体制を強化する必要がある。モニタリングの主な目的・内容としては、イ）既往情報の整理とデータベース化、ロ）堤防弱点箇所の抽出、ハ）構造的安定性や対策工法の効果の検証、ニ）維持管理への応用などがあり、それぞれについて

手法の高度化・体系化を図っていく必要がある。

4. 社会資本ストックの資産保全（アセットマネジメント）への貢献

4.1 総論

地盤環境工学に関連する社会資本ストック（構造物）には、トンネル、基礎構造物、地下埋設物、河川堤防、盛土・切土法面、アンカー、空洞（坑道跡等）、歴史的遺産などがある。これらの社会資本ストックは、戦後急速に整備が進められず膨大な量に達しており、最近のいくつかの事故例にもみられるように、適切な補修が行われなければ長年月の間に劣化が進行し、社会的に重大な影響を及ぼすと同時に、構造物そのものとしての機能を損ない、貴重な社会資本ストックの損失をまねかかねない状況にある。このため、これらの構造物の維持管理・更新（メンテナンス・リニューアル）の技術は、社会政策上、極めて大きな位置づけにある。

したがって、劣化の進行を未然に防止するための適切な診断・補修システムや、構造的健全度に影響を及ぼすような劣化が生じた構造物に対するリニューアル技術の高度化が重要である。すでに、健全度診断や補修・補強のための要素技術は各種提案され、各種構造物ごとに点検や種々の劣化調査が行われているが、それらの調査結果に基づく定量的な健全度診断技術の確立が不可欠である。

さらに、診断・補修・更新の個々の要素技術を総合的に組み合わせてライフサイクルコストを下げる方法論（メンテナンスの計画論 or ストックマネジメント）を考えていく必要があり、次のような戦略的な技術体系の構築が求められている。

- ① 構造物に求められる健全度の基本的考え方（要求性能）を明確にし、その要求水準に応じたメンテナンスの基本方針を確立する。
- ② 劣化の実態と劣化機構をふまえた構造物別点検・調査・モニタリング手法を確立し、健全度診断技術の高度化を図る。
- ③ 劣化状態に応じた補修・リニューアル技術を提案し、これまで以上に構造物の延命化のための補修に適切な費用をかけ、将来の更新費用の負担を軽減する。
- ④ データベースを整備し、対策優先度の決定や補修・対策コストの将来予測が行えるマネジメントシステムにより、実行可能なメンテナンス計画を策定する。
- ⑤ 劣化しにくい長寿命の構造物や、劣化しやすい部位を容易に交換可能な構造物の設計法を提案する。

社会資本ストックの資産保全（アセットマネジメント）に貢献する調査技術としては、健全度診断技術の高度化を図るための、劣化の実態と劣化機構をふまえた構造物別点検・調査・モニタリング手法の確立が求められている。また、最近の情報技術の有効活用が期待される。

4.2 土木研究所で実施した研究例

土木研究所では、平成13年度から17年度にかけて、重

点プロジェクト研究「社会資本ストックの健全度評価・補修技術の開発」を実施した。これは、今後、社会基盤整備に対する投資余力が減少していくなか、安全で快適な社会・経済活動を維持していくためには、これまでに蓄積された膨大な社会資本ストック（土木構造物）を丈夫で長持ちさせるための以下のような技術開発が必要であるとの認識に基づくものである。

- 1) 構造物の状態を的確かつ効率的に把握し、健全度を診断する技術
- 2) 評価結果に基づいて構造物を適切に補修する技術
- 3) 適切な時期に適切な補修を行うことで、構造物の延命化、更新時期の平準化、補修・更新費用の最小化、ライフサイクルコストの最小化等を図り、安全で供用性の高い構造物を戦略的に維持管理していく技術

本重点プロジェクト研究の課題構成は、以下のとおりである。

① 構造物の健全度診断技術の開発

- ・鋼構造物の劣化状況のモニタリング手法に関する調査
- ・橋梁などの下部構造の健全度評価手法に関する研究
- ・アースアンカーの健全度診断・補強方法に関する研究

② 構造物の補修技術の開発

- ・既設コンクリート構造物の補修技術の開発
- ・舗装の低騒音・低振動機能の回復に関する研究
- ・既設トンネルの補修・補強技術の開発
- ・鋼橋塗替え塗装の高度化に関する研究

③ 構造物の維持管理システムの開発

- ・コンクリート構造物の維持管理計画に関する研究
- ・橋梁の健全度評価と維持管理システムの高度化に関する研究
- ・舗装マネジメントシステムの実用化に関する研究

このうち、地盤工学関連課題の概要を述べると、以下のとおりである。

「橋梁などの下部構造の健全度評価に関する研究」では、橋梁の下部構造で特に要請が強い洗掘に対する健全度評価の開発を行った。洗掘による橋梁の被災事例の要因分析から、橋脚の架設年代や橋台架橋地点の地形や最小径間長等が洗掘被災に及ぼす影響が大きいことを明らかにするとともに、ケーソン基礎の方が杭基礎よりも洗掘による耐力の低下度合いが大きいことから、両者を区分した健全度評価表を提案した。また、洗掘のおそれがある橋脚の洗掘推定式を提案し、将来予測の精度を高めた。以上の成果により、洗掘による被害を受ける橋梁を従来よりも明確に抽出できるようになった。今後は、洗掘を受けた基礎の保有耐力の評価方法を含めて、引き続き健全度評価手法の高度化の研究を進めていく予定である。

「アースアンカーの健全度診断・補強方法に関する研究」では、長年月経過したグラウンドアンカーでは、引張り材の腐食等により構造物の安全性が脅かされるケースの増加が懸念されることから、アンカーの健全度診断・補強方法

の開発を行った。現場の実態調査により、鋼棒、鋼より線タイプともに、引張り材が腐食などの問題を抱えている場合があることを確認するとともに、アンカー頭部背面の引張り材の健全度調査・診断に超音波探傷試験が適用可能であることを明らかにした。そして、点検や各種調査手法を組み合わせたアンカーの健全度診断手法をとりまとめた「グラウンドアンカーの点検・健全性調査・補修マニュアル(案)」を作成した。今後は、このマニュアルの普及を図るとともに、アンカー深部の健全性調査手法や補修・補強対策の研究が望まれる。

「既設トンネルの補修・補強技術の開発」では、老朽化したトンネルが増大する状況のなか、限られた公共投資のもとで効率的なトンネルの維持管理を行うため、変状が発生したトンネルに適用される補修工や補強工の開発を行った。具体的には、耐荷力の決まる破壊形態を押抜き載荷試験や覆工載荷実験によって明らかにし、設計に用いる耐荷力の評価方法を提案した。また、新材料を用いた新工法として、1)覆工コンクリート片剥落防止の役目とともに対策実施後も覆工表面のひび割れが観察可能な補修工、2)覆工が損傷して耐荷力が低下した覆工の内面に薄肉の補強工を施すことで耐荷力の向上を図る補強工を開発した。さらに、変状が発生したトンネルに作用する土圧の評価手法として、ひび割れの進展を考慮できるシミュレーション解析の適用可能性の目処を得た。今後は、補修の必要な箇所を簡単に見出す方法についても研究を進めて行く必要があると考えている。

5. おわりに

これからの建設産業には、「国土をマネジメント（運営・管理）する」という発想が求められる。地盤環境工学においても、社会技術重視の展開が期待されており、「総合的な地盤防災への貢献」と「社会資本ストックの資産保全（アセットマネジメント）への貢献」について展望した。

本特集では、各分野の第一人者の方々から、リスクマネジメントとメンテナンス工学の神髄が示され、今後目指すべき技術の方向性が展望されている。今後の技術構想を描く際の一助となれば幸いである。

引用・参考文献

- 1) 三木博史：社会基盤の建設、施工、維持管理で求められる計測技術、基礎工、Vol. 33, No. 9, pp. 6-9, 平成 17 年 9 月。
- 2) 日本学術会議・社会環境工学研究連絡委員会・地盤環境工学専門委員会報告「地盤環境工学の展開と連携に向けて」、平成 17 年 6 月。
- 3) 三木博史：防災に関する展望—今後期待される新技術について—、土と基礎、Vol. 52, No 1, pp. 26-28, 平成 16 年 1 月。
- 4) 三木博史：河川防災技術の課題、土と基礎、Vol. 53, No 1, pp. 28-30, 平成 17 年 1 月。
- 5) 環境地盤調査解説執筆委員会：地盤調査の方法と解説 第 12 編 地盤環境調査、(社)地盤工学会, pp. 735-845, 平成 16 年 6 月。

地盤構造物アセットマネジメントと ジオリスクエンジニアリング

おお っ ひろ やす
大 津 宏 康*

1. はじめに

少子高齢化社会の到来に伴う税収不足が想定される厳しい社会情勢の下で、昨今ではインフラ構造物の建設・維持・補修・更新を含めて、その費用・便益を総合的に評価する方法論として、インフラ構造物のアセットマネジメント(以下アセットマネジメントと称す)という概念が注目されるようになってきた¹⁾。

ここで、インフラ構造物のアセットマネジメントについては、その定義および対象とする適用範囲についてさまざまな解釈がなされている。例えば、世界銀行 WB を始めとする公的援助機関のアセットマネジメントの定義は、建設工事のフローの中で上流側に位置づけられる企画・調査・設計段階において、将来的な維持補修を踏まえて、最適なインフラ構造物の建設計画を立案するものである²⁾。

ただし、上記の世界銀行 WB を始めとする公的援助機関の概念は、主として道路構造物の中でも舗装 (Pavement) を対象として構築されたものである。言うまでもなく、舗装においては走行車両数あるいは走行車両重量と、路面の劣化あるいは性能低下との関係が比較的明確であることから、設計段階において将来的な維持補修計画を立案することが可能であることに起因するものと推察される。

これに対して、本報告で対象とする、その劣化あるいは性能低下過程が多様な要因によって引き起こされる地盤構造物に対しては、現状では時期尚早であると考えられる。このため、現段階での一般化したインフラ構造物のアセットマネジメントとしては以下に示す Federal Highway Administration (FHWA) の定義³⁾に準拠し、既設構造物の維持・補修・更新を対象とした検討に特化されたものとするのが最も一般的であると推察される。

「Asset management is a systematic process of maintaining, upgrading, and operating physical assets cost-effectively. It combines engineering principles with sound business practices and economic theory, and it provides tools to facilitate a more organized, logical

approach to decision-making. Thus, asset management provides a framework for handling both short- and long-range planning.」(文献3)からの抜粋)

上記の FHWA の定義において注目すべきことは、アセットマネジメントは、構造物の短期的および長期的な維持・補修・更新に関して、従来の工学的知識に、費用便益のようなビジネス感覚および経済的観点を加えた意思決定を行うためのシステムであると明記していることである。このため、現在一部にはアセットマネジメントについて、従来からの点検・補修の単なる高度化と捉えている向きもあるが、アセットマネジメントは、構造物を資産として捉えた社会経済的な観点からの検討を加えるものであると認識することが必要である。

また、アセットマネジメントは、予防保全の観点から短期および長期の構造物の維持・補修・更新計画を立案することから、地震・降雨・洪水等の自然ハザード (Natural hazard) の到来あるいは、構造物の将来的な性能低下等の不確実性要因に対処することが必要となる。このため、地盤構造物を対象としたアセットマネジメントにおいては、種々の不確実性要因への対応を図るため、統計・確率理論を援用したジオリスクマネジメントという概念を適用することが必要となる。

ここで、現状での建設分野におけるアセットマネジメントの適用状況を明らかにするため、道路構造物を対象とした解説を加える。道路構造物を対象とした場合、図1の模式図に示すようにアセットマネジメントの適用は、舗装の分野が最も先行していると言えよう。例えば、その代表例として、世界銀行 WB およびアジア開発銀行 ADB 等により開発された HDM-4 が挙げられる。HDM-4 の詳細については、文献4)および文献5)等を参照されたいが、同システムの特徴は、舗装の維持補修に関連する費用・便益(維持補修費用・道路利用者費用・社会環境費用等)を予測したライフサイクルコスト(以下LCCと称す)分析により、最適な維持管理方策を立案するものである。

また、橋梁 (Bridge) は、図1の模式図に示すように、舗装に続きアセットマネジメントの適用が進められつつある分野と位置づけられるであろう。例えば、佐藤らによる

* 京都大学大学院経営管理研究部 教授

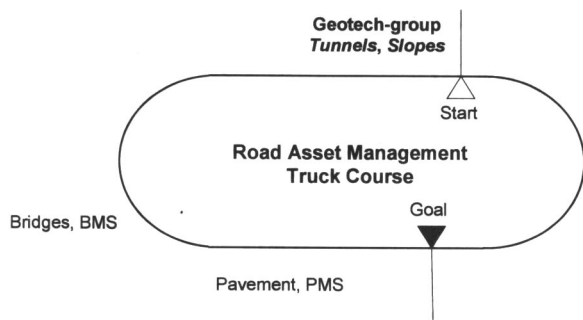


図1 道路構造物アセットマネジメントの現状

研究⁶⁾に代表されるように、橋梁を対象としたアセットマネジメントとしては、橋梁を構成する部材のさまざまな要因に起因する経年的な性能低下を考慮したLCC評価がなされている。

これに対して、道路を構成する構造物の一部である斜面・トンネル等の地盤構造物に対しては、道路防災という観点からの維持補修に関する検討はなされているが、LCC評価を含めたアセットマネジメントという観点からの研究事例はほとんど発表されていない。数少ない研究事例としては、Bernhardtら⁷⁾の研究が挙げられるが、この研究は地盤構造物に対するアセットマネジメントの適用に関するフレームワークについて述べるに留まっており、定量的にLCCを評価した維持補修戦略について議論したものではない。すなわち、本報告で対象とする斜面・トンネル等に代表される地盤構造物に関するアセットマネジメントについての研究は、未だ途についたばかりであると位置づけられるであろう。しかし、道路というインフラ構造物においては、舗装、橋梁および地盤構造物のいずれがその性能を喪失しても全体としては機能しないことは言うまでもない。したがって、道路というインフラ構造物の維持・補修・更新を費用便益評価等に基づき包括的に立案するためには、地盤構造物についても、舗装・橋梁と同等に、LCCを判断指標としたアセットマネジメント手法を確立することが急務であると推察される。このためには、前述のように地盤構造物のLCC評価において長期的な構造物の性能低下に関する不確実性を考慮する上で、統計・確率理論を採用したジオリスクマネジメントという概念の適用が不可欠な要素となるものと推察される。

このような観点から、本報告では、筆者らがこれまでに提案指摘してきた、地盤構造物を対象としリスク評価を基本としたLCCの評価手法について示すとともに、長期的な構造物の性能低下に関する不確実性を表現する上での今後の課題について解説を加えるものとする。

2. LCCの基本モデル

前述のように、世界銀行WBを始めとする公的援助機関のアセットマネジメントの定義は、建設工事のフローの中で上流側に位置づけられる企画・調査・設計段階において、将来的な維持補修を踏まえて、最適なインフラ構造物の建設計画を立案するものである。この定義に基づけば、イン

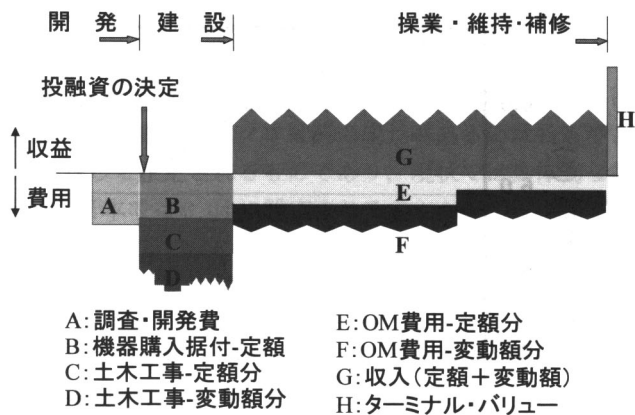


図2 建設プロジェクトにおける費用・収益の分類⁸⁾

フラ構造物のLCCは、次式のように表現されるであろう。

$$LCC = C_c + C_{MT} + C_o \quad (1)$$

ここに、 C_c は建設コスト、 C_{MT} は維持補修費用(点検および更新費用を含む)、 C_o はオペレーション費用を表わす。なお、式(1)に含まれるオペレーション費用 C_o の代表例としては、PFIプロジェクトにおけるプロジェクトへの融資に対する返済額が挙げられる。

ここで、式(1)に示すLCCには、多くの不確実性要因を含むことは言うまでもない。この数多くの不確実性要因が、建設工事のフローの中で顕在化する可能性については、模式的には図2に示すように表わされる⁹⁾。なお、同図においては、不確実性要因により変動する可能性がある費用・便益(図2においては収益と表示)の項目については、波線を用いて表示している。また、同図では、維持補修費用 C_{MT} とオペレーション費用 C_o を併せて、OM費用として表示していることに留意されたい。

したがって、図2に示す収益に関する不確実性を考慮すれば、式(1)に示すインフラ構造物のLCCの評価式は、次式のように書き換えられるであろう。

$$LCC = C_c + C_{MT} + C_o + \Delta R \quad (2)$$

$$\Delta R = \Delta R_c + \Delta R_{MT} + \Delta R_o \quad (3)$$

ここに、 ΔR はLCC評価における総リスクコストを表わす。また、 ΔR_c 、 ΔR_{MT} 、 ΔR_o は、それぞれ建設コスト、維持補修費用およびオペレーション費用に関するリスクコストを表わす。

現状でのアセットマネジメントに関する研究分野では、式(3)に示す各リスクコスト項目の内、主として維持補修費用に関するリスクコスト ΔR_{MT} のみが検討対象とされており、建設コストのリスクコスト ΔR_c およびオペレーション費用のリスクコスト ΔR_o については、ほとんど取り扱われていない。これは、前述のように、現状での建設分野が対象としているアセットマネジメントに関する研究の多くが、企画・調査・設計・施工・操業という一連の建設工事のフローの中で、操業段階すなわち既設構造物を対象とした検討に特化されていることに起因する。

これに対して、建設コストのリスクコスト ΔR_c について数学的に取り扱った事例は極めて少ない。その数少ない事例としては、筆者ら^{8),9)}が建設コスト変動要因の内、地盤のリスク要因に起因するコスト変動リスクを評価した研究

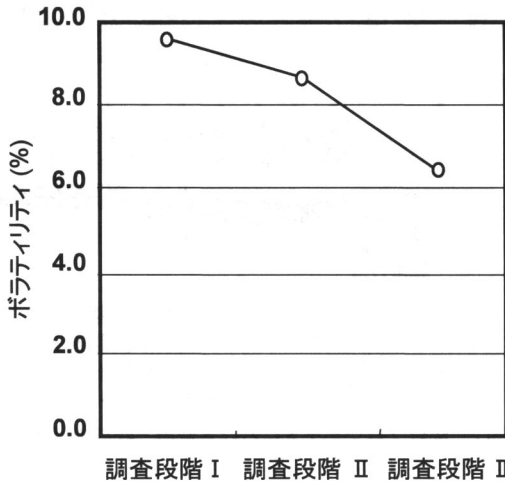


図3 建設コストのボラティリティ

が挙げられる。例えば、図3は図4に示すタイにおいて建設された揚水式地下発電所での地下空洞の建設コストに関して、文献9)に示した、地盤統計学を用いたリスク評価手法を用いたコスト推定結果として、調査の進行に伴い推定される建設コストに含まれる不確実性（同図ではボラティリティと標記）が低減される傾向を定量的に示したものである。なお、図3におけるボラティリティとは、推定される建設コストのリスクと期待値の比の百分率を表わすものである。したがって、同図に示すように、地質調査量が増えるに従って推定される建設コストのリスクが低減される傾向が示されている。このような研究は、今後地盤構造物を対象とし、地質調査の価値を定量的に示すものであることから、より一般的になることが期待されるものと推察される。

また、オペレーション費用に関するリスクコスト ΔR_o についても、同様に土木分野では全く研究の対象とされてこなかったと言えよう。当該分野の研究としては、尾ノ井ら¹⁰⁾による、PFIによるプロジェクトでのオペレーション費用に関するリスク要因として金利変動を考慮し、金融工学理論に基づき、その費用変動を評価した研究事例が挙げられる程度である。

このような観点から、今後アセットマネジメント分野の研究においては、建設コストのリスクコスト ΔR_c およびオペレーション費用のリスクコスト ΔR_o の定量的評価に関する必要性が高まるものと推察される。しかし、本報告では、上記の2項目のリスクコスト算定の必要性を述べるに留め、以下に現在提案されている構造物の性能低下による便益低下すなわち維持補修費用のリスクコスト ΔR_{MT} のモデル化手法について整理して解説する。

3. 構造物の性能低下過程を考慮した維持補修費用のリスクコスト ΔR_{MT} のみを対象とした期待 LCC の評価

式(3)に示す LCC に含まれる維持補修費用のリスクコスト ΔR_{MT} の評価手法については、これまでに数多くの研究事例が報告されているが、まず構造物の性能低下のモデ

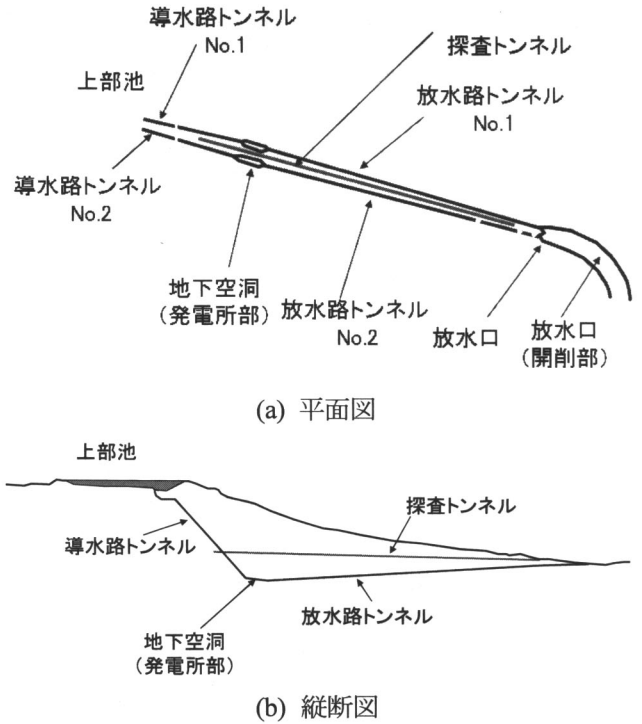


図4 揚水式発電所レイアウト

ル化については、大別して性能低下を時間空間で連続量として表現する方法と、離散量として表現する方法に区分されるであろう。また、離散量として表現する方法においても、地震・降雨等の自然ハザードの影響を評価するか否かに区分することができる。

本報告では、筆者らが提案してきた性能低下を時間空間で離散量として表現し、また地震・降雨等の自然ハザードの影響を評価した維持補修費用のリスクコスト ΔR_{MT} を考慮した期待 LCC の算定手法および、その適用結果について以下に解説する。

3.1 基本概念

筆者ら¹¹⁾がこれまでに提案してきた地盤構造物の期待 LCC の評価式は、対策工の更新費用と累積期待損失の和からなるものと仮定したものである。すなわち、斜面の対策工を何年目かに更新し、構造物を N 年間供用する場合の期待ライフサイクルコスト LCC_N は、以下のように算定されるものとする。

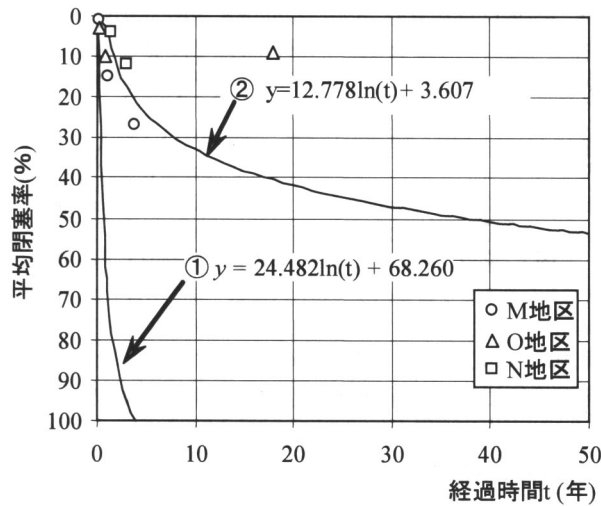
$$LCC_N = \sum_{i=1}^N p_{ai}^* C \left(\frac{1}{1+\rho} \right)^{i-1} + \sum_{i=1}^N I(i+1) \left(\frac{1}{1+\rho} \right)^i \quad (2)$$

$$p_{ai}^* = - \int_0^{\infty} p_i(\alpha) \frac{\partial \Psi(\alpha)}{\partial \alpha} d\alpha \quad (3)$$

ここに、 p_{ai}^* は供用年 i 時点での構造物の年間破壊確率、 C は斜面崩壊に伴う直接損失と社会的な損失を考慮した間接損失の和、 ρ は社会的割引率、 $I(i)$ は対策工の補修・更新に要する費用を表わす。なお、 $I(i)$ は具体的には、添字 i は更新がなされる年数の場合のみ補修費を表わし、その他の場合には0である。また、 $p_i(\alpha)$ は供用年 i 時点でのハザードレベル α に対する構造物の条件付破壊確率、 $\Psi(\alpha)$ はモデル化したハザード情報（ハザードレベル α とそのハザードレベル強度 α の事象が発生する年超過確率

の関係)を表わす。

なお、式(2)に示す供用年*i*時点での構造物の年間破壊確率の算定手順の詳細については、文献11)を参照されたい。



注) ○内の数字は、閉塞パターンを表わす。

図5 経過年数と平均閉塞率の関係(観測結果および回帰曲線)

また、式(2)に含まれる社会的割引率 ρ は、将来に想定される収入・支出を現在価値に割り戻して評価するために用いられる係数である。このため、構造物の重要度とは無関係に、対象国のマクロ経済の成長率あるいは公定歩合等に連動して設定されるものであり、現状では具体的な値として、日本では0.04に設定されることが一般的である¹²⁾。

ここで、式(2)に示す供用年*i*時点での構造物の年間破壊確率 p_{ai}^* と更新費用 $I(i)$ の関係について以下に解説する。すなわち、対策工を*m*年目および、その*m+n*年目に更新し斜面を無限に供用するものとすれば、その構造物の年間破壊確率 p_{ai}^* の推移は、以下の数列として表わされる。

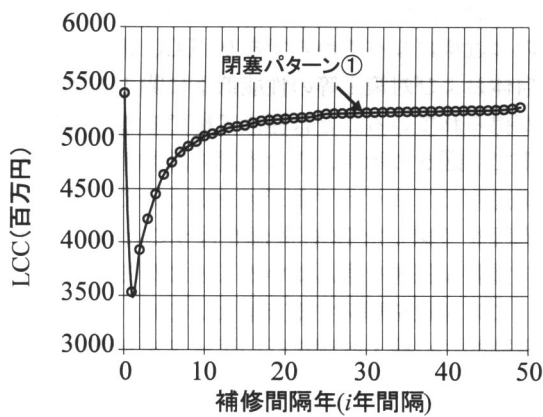
$$p_{a1}, p_{a2}, \dots, p_{am}, p_{a1}^1, p_{a2}^1, \dots, p_{an}^1, p_{a1}^2, p_{a2}^2, \dots \quad (4)$$

ここに、 p_{ai}^j は、*J* 回目の更新後の *i* 年目の状態での斜面の年間破壊確率を表わす。

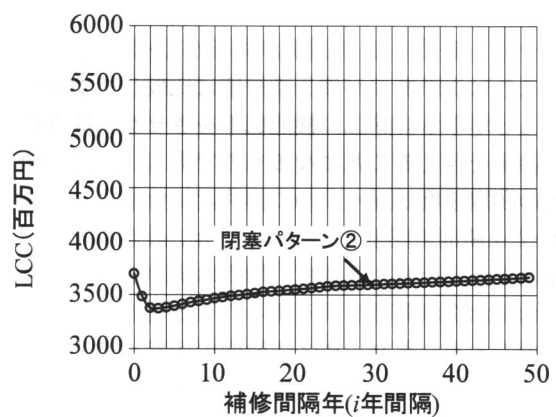
また、式(2)に対応する更新費用 $I(i)$ の推移は、例えば *m* 年目に更新するとすれば、以下のような数列として表わされる。

$$0, 0, \dots, 0, I_A, 0, \dots, 0, I_A, 0, \dots \quad (5)$$

ここに、 I_A は1回の対策工の更新に要する費用を表わす。

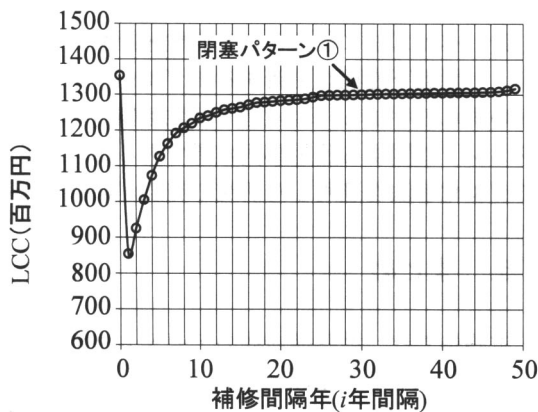


(a)閉塞パターン①

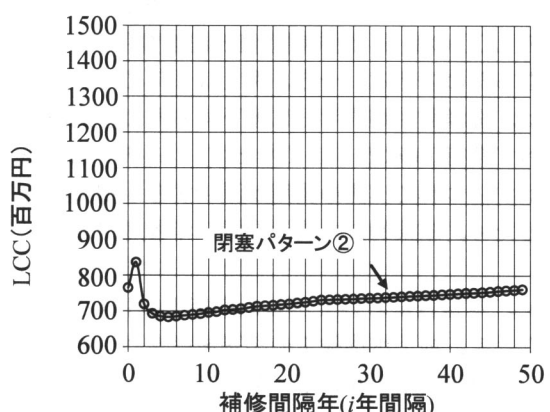


(b)閉塞パターン②

1) A-4 断面



(a)閉塞パターン①



(b)閉塞パターン②

2) B-2-4 断面

図6 経過年数50年での期待ライフサイクルコストLCCと補修間隔との関係

3.2 解析事例

3.1 に示した基本概念を適用した期待ライフサイクルコストの算定事例として、本報告では地すべりの対策工として設置された地下水排除工の性能低下に関する検討結果を示す。この期待ライフサイクルコストの解析対象とする地区は、地すべり多発地帯に位置しており、周辺の地質は新第三紀中新世の頁岩・凝灰岩・砂岩を基盤とし、その上位には地すべり崩積土が10~15mの厚さで分布している。同地区では、集水井工、集水ボーリング工、水路工等が地すべり対策工として施工されている。なお、この事例の解析手順については文献11)を参照されたい。

この事例において、現地で観測された集水ボーリング工の閉塞（性能低下）は、図5に示すように、地下水にマンガンの陽イオンを多く含む箇所（図5のM地区およびO地区に対応）では急速に発生するのに対して、その他の場合（図5のN地区に対応）には比較的緩やかである。得られているデータが比較的短期であり限られた条件ではあるが、それぞれ陽イオンを多く含む箇所およびその他の箇所のデータを、図5に示すように、2種類の対数を用いた回帰曲線によりモデル化した（以下、閉塞パターン①、閉塞パターン②と称す）。

以上の解析条件に基づく算定結果として、図6に50年後の期待LCCの算定結果を示す。例えば、B-2-4断面の閉塞パターン②を除く結果では、最適洗浄間隔が1~2年となっているが、これは洗浄費用が損失期待値に比較して小さいため、ほとんど地下水排除工の機能低下をさせないほうが最適という結果を与えることになるものである。一方、地下水排除工の閉塞速度が遅く、かつ損失期待値増分が比較的小さいB-2-4断面の閉塞パターン②では、最適洗浄間隔が5年程度となっている。これは、地下水排除工の閉塞速度が遅い場合には洗浄間隔を長くすることが可能となる傾向を示すものである。なお、B-2-4断面の閉塞パターン②の結果において、閉塞間隔1年の場合に洗浄を実施しない場合（図では補修間隔0年に相当）に比べて期待LCCが増加する傾向を示す。これは、このパターンでは閉塞速度が遅いため地下水排除工の洗浄を実施しない場合でも1年ごとの損失期待値の増加が比較的小さいため、洗浄を実施した後1年間のLCCの増分（損失期待値と洗浄費用の和）の方が大きくなるためである。一方、例えば2年ごとに洗浄する場合には、洗浄費用が約半分に低下するため、洗浄間隔1年に比べて期待LCCが小さくなっている。その後、洗浄間隔を伸ばすにつれて、洗浄費用が減少するが損失期待値は増加するため、結果的には洗浄間隔5年程度が最適な対策となる。

このように、本報告において示した期待LCC算定モデルを用いることで、地下水排除工の閉塞速度をパラメータとした期待LCCの変動を明示的に表現することが可能となる。

4. 今後の課題

3.においては、構造物の性能低下過程を考慮した維持補

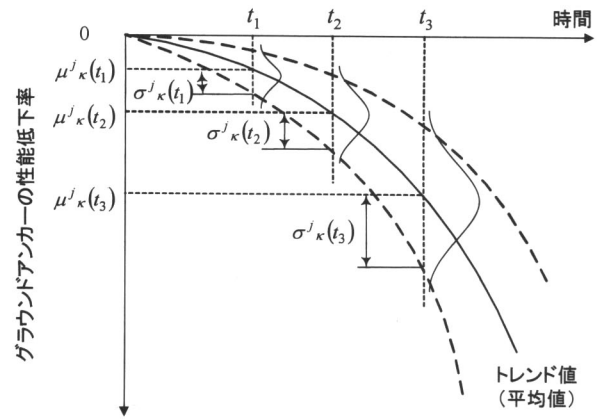


図7 グラウンドアンカーの性能低下評価のモデル化

修費用のリスクコスト ΔR_{MT} のみを対象とした期待LCCの評価手法について示すとともに、地盤構造物の事例として地すべり斜面を取り上げ、対策工である地下水排除工の性能低下過程を考慮した期待LCCの算定結果を示した。この事例における課題は、言うまでもなく対策工の性能低下の推定に関して、図5に示すように、比較的短期であり限られた観測データの回帰曲線を用いて内挿していることである。

一般に、構造物の点検データが収集されるようになったのは近年になってからであり、LCC評価に必要となる地盤自体および対策工等の性能低下に関する経時変化のデータが得られていることは極めて稀である。このような状況の下で、図5に示すような短期の計測データに基づき、地盤構造物のアセットマネジメントとして、構造物の性能低下過程を考慮したLCC評価を行うことは、その精度において重要な課題を含んでいることになる。

この課題を解決する方策としては、第一義的には、今後継続的に点検・計測を行いデータを集積することで、推定精度の改善を図ることが挙げられる。これに加えて、以下のような方策が挙げられると推察される。

- 1) 現状では外挿とならざるを得ない性能低下過程の推定において、図7に示すように、時間とともに不確実性が増加するモデル化手法の適用¹³⁾
- 2) ベイズ法に代表される点検・計測データに基づく性能低下過程を更新するモデル化手法の適用¹⁴⁾

いずれの手法も、現段階では地盤構造物のアセットマネジメントに関する適用事例は稀であるが、今後このようなモデル化手法を適用した研究の発展が期待される。

5. まとめ

本報告では、地盤構造物のアセットマネジメントにおける判断指標となるLCCの評価において、その不確実性を考慮した評価手法について示すとともに、長期的な構造物の性能低下に関する不確実性を表現する上での今後の課題について解説を加えた。今後当該分野における研究が活発となることが期待される。

参考文献

- 1) 大津宏康：建設分野におけるリスク工学の適用性とその展望，土木学会論文集，No. 728/VI-58，pp. 1-16，2003.
- 2) 大津宏康・中澤慶一郎・安田亨：ベトナムにおける道路アセットマネジメント調査結果，土木学会論文集，No. 812/VI-70，pp. 85-93，2006.
- 3) Federal Highway Administration (FHWA)：Proc., Asset Management：Advancing the State of the Art into the 21st Century through Public-Private Dialogue，Washington, D. C., 1997.
- 4) PIARC：The Highway Development and Management Series，Vol. 1，2000.
- 5) Taniguchi, S., Yoshida, T. and Xing, J.：A Comparison of HDM-4 and MLIT-PMS，Proc. of CHINA-JAPAN Workshop on pavement technologies，pp. 195-203，2003.
- 6) 佐藤忠信・吉田郁政・増本みどり・金治英貞：ライフサイクルコストを考慮した道路橋の補強戦略，土木学会論文集，No. 784/VI-66，pp. 125-138，2005.
- 7) Bernhardt, K. L. S., Loehr, E. L. and Huaco, D.：Asset Management Framework for Geotechnical Infrastructure，ASCE Journal of Infrastructure Systems，pp. 107-116，2003.
- 8) 大津宏康・尾ノ井芳樹・大西有三・足立純：PFI プロジェクトの地盤に起因する建設コスト変動評価に関する研究，土木学会論文集，No. 777/VI-65，pp. 175-186，2004.
- 9) 大津宏康・尾ノ井芳樹・境亮祐：地盤統計学に基づく地下工事における地質調査の価値評価に関する一提案，建設マネジメント研究論文集，Vol. 12，pp. 9-18，2005.
- 10) 尾ノ井芳樹・大津宏康：地盤リスクを有する民間プロジェクト投資評価に関する一考察，建設マネジメント研究論文集，Vol. 11，pp. 409-416，2004.
- 11) 大津宏康・Nutthapon Supawiwat・松山裕幸・高橋健二：地下水排除工の性能低下を考慮した斜面アセットマネジメントに関する研究，土木学会論文集，No. 784/VI-66，pp. 155-169，2005.
- 12) 道路投資の評価に関する研究委員会編：道路投資の評価に関する指針（案），日本総合研究所，1998.
- 13) 大津宏康・松山裕幸・SUPAWIWAT Nutthapon・高橋健二：斜面对策工の性能低下過程の不確実性を考慮した LCC 評価，土木学会論文集 F，Vol. 62，No. 2，pp. 405-418，2006.
- 14) Hong, F. and Prozzi, J. A.：Estimation of Pavement Performance Deterioration Using Bayesian Approach，ASCE Journal of Infrastructure Systems，Volume 12，Issue 2，pp. 77-86，2006.

道路斜面の維持・管理のための 新しい手法の提案

おきむら たかし
沖村 孝*
とりい のぶ
鳥居 宣之**

1. はじめに

道路は安全で信頼できる通行の確保が要求されている。このため、道路沿いに展開する法面崩壊の発生防止、あるいは、もし法面崩壊が発生した場合でも、被害や影響を最小に食い止める必要がある。この目的を達成するためには、崩壊した後の復旧では目的を達成できず、法面の日常の維持管理を行い、早期の対応を施すことによって、崩壊による甚大な被災を未然に防止する必要がある。

本稿では、道路において採用されている斜面の維持管理手法の紹介と建設コンサルタンツ協会近畿支部の「斜面防災研究委員会」で新たに提案された¹⁾維持管理手法の紹介、ならびに、効率的な斜面防災対策工施工のため、降雨の年超過確率を考慮した道路斜面对策工施工優先順位の新たな求め方²⁾について紹介する。鉄道に関する維持・管理については、地盤工学会より平成18年7月に発行の、「豪雨時における斜面崩壊のメカニズムと危険度予測」³⁾に詳述されているので、それを参照されたい。

2. 道路における維持管理の現状

国土交通省近畿地方整備局では、道路巡回実施要領(案)を作成して、道路構造物全般を対象として、「日常(通常)点検」を加えて1年に1回「定期点検」を実施している⁴⁾。さらに、台風、豪雨、豪雪、地震等により災害発生の恐れがある場合、あるいは災害が発生した場合には、「異常時(臨時)点検」を実施し、巡回日誌、巡回報告書を作成し、点検場所、異常の種類・程度、所見、措置等を記録している⁴⁾。また、平成8年度の道路一斉点検で、カルテ対応と判定された斜面に対しても、日常(通常)点検、定期点検、異常時(臨時)点検を実施し、点検内容は防災カルテを利用して、記録を行っている。旧日本道路公団の場合は、これらに加えて、完成後の初期状況を把握するための「初期点検」があり、さらに構造物の損傷調査を詳細に行い補修計画を立案する「詳細点検」も存在する。維持管理の流れを図1⁵⁾

に示す。

3. アセットマネジメントからみた維持管理の課題

現状では、これらの点検により、道路構造物の維持管理が図られている。しかし、「日常(通常)点検」は、パトロール車内からの目視が基本となっている。道路構造物の一種である法面に限定すれば、橋梁や擁壁に比してパトロール車からの点検距離が遠方となり、微小な変状の発見が困難である。徒歩で法面の細部の状況を目視する定期点検が、1年に1回であることを考えると、変状の早期発見・早期対応は困難であり、結果として突発的な被災を受ける可能性が高くなる。このため、法面の日常(通常)点検と定期点検とを補完する踏査による点検があれば、変状の早期発見につながり、被災の未然防止にも活用できる。しかし、これを実施するには、莫大な人員と経費と時間を必要とする。

しかしながら、近年、斜面維持管理を通して、崩壊を未然に防止することにより、人命の保全、通行の確保を図るとともに、長期的に見て経費の軽減を図るアセットマネジメントの重要性が指摘されている。このアセットマネジメントの考え方、および斜面のライフサイクルコストを算定するためには、現状の斜面の安定性を評価する指標が必要となる。換言すれば安全率等の指標によって示される「斜面の性能」を定義し、それが時間とともにどのようにして低下していくかを示す必要がある。ところが、安全率の考え方は、厳密には破壊か非破壊であり、破壊に至るまでの安全性やプロセスを評価できない。斜面の性能は破壊に至るまでのプロセスを対象とするため、破壊を対象とする安全率で斜面の性能を評価できない。

安全率に代わるものとしては、斜面の変状が考えられる。斜面の破壊は突発的に起きるものとされる場合が多いが、これは破壊に至るまでの変状に関する情報が少ないことにも起因している。一般的には、時間的な逼迫度の大小はあるが、必ず事前の兆候現象があると考えられる。法面の材料を考えれば土であり、岩である。脆性材料である岩では、突発的な破壊が考えられるが、それ以外は塑性材料である。この材料の場合、破壊に至るまでは大きな変状が生じる。

* 神戸大学都市安全研究センター 教授

** 同 助手

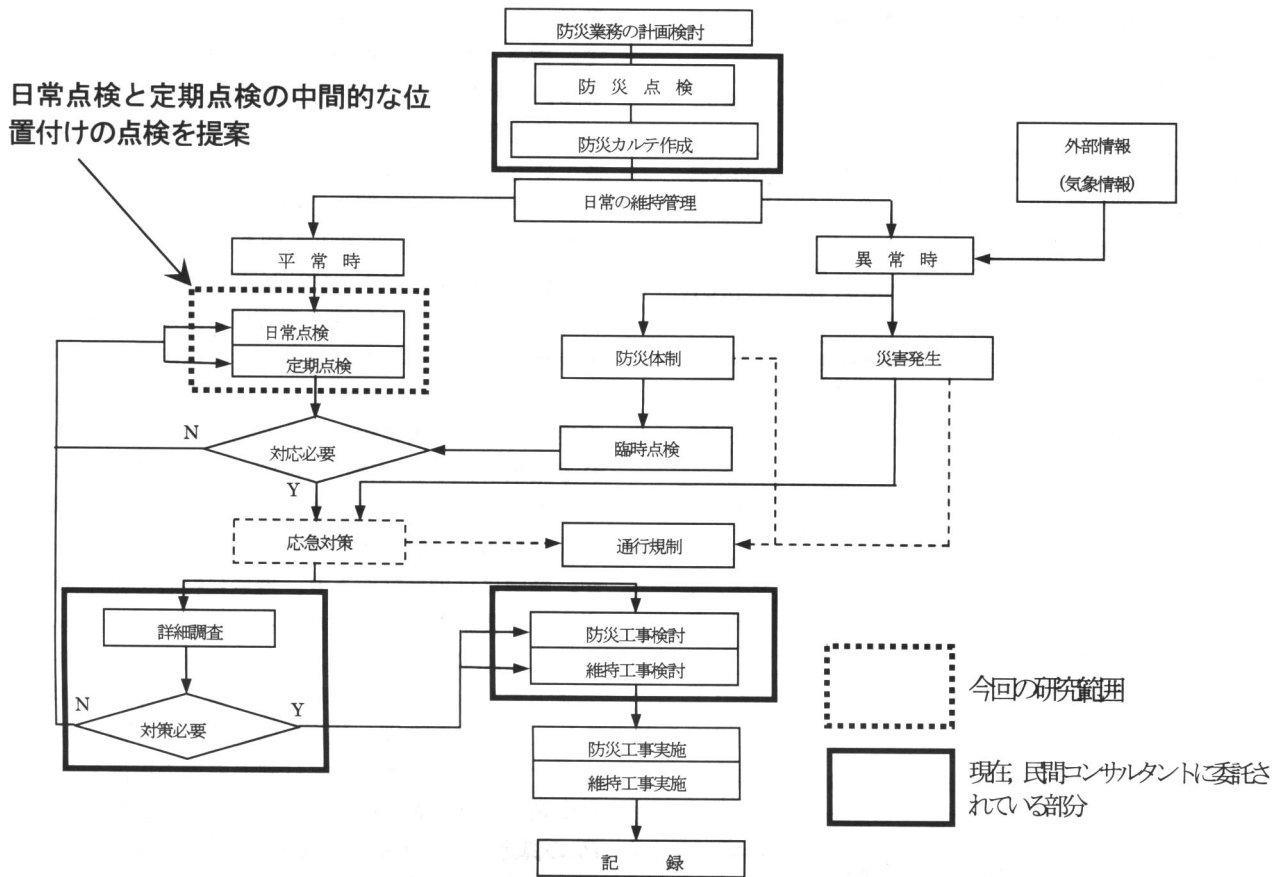


図1 維持管理の流れ

通常、破壊に至っていない変状の程度に応じて、変状がまったく発生していない場合、小さな変状がある場合、大きな変状になっている場合をわれわれはよく目にする。この変状があっても、斜面が安定している場合もある。このため、この変状の大きさのみならず、変状速度を早期に把握することが大切であり、そのためには踏査による点検が大切になる。一方、変状や速度の大きさは、斜面の性能においては、使用限界、安全限界（終局限界）に定義づけることもできる。

性能を表すものとして、これ以外には斜面の強度を把握し、外力に対する安全率の大きさを評価する方法も考えられるが、地山の強度を求めることは一般に困難である。これらのことを考えると斜面の維持管理は、変状をベースとして行われることが最も容易である。踏査による点検も、目視や定性的な判定ではなく、変状を把握した定量的な評価が行われることが望ましい。これらの評価は、斜面危険度の早期把握のみならず、点検結果は斜面の性能曲線の作成にもつながる。ところが、現状の維持管理手法の日常(通常)点検や定期点検では、この変状を把握することが難しく、特に変状の遷移、変状速度は、1年に1回の定期点検では把握することができない。このため、日常(通常)点検や定期点検を補完し、変状を把握する点検の導入が望まれる。しかし、莫大な経費と人員と時間を要する点検は、困難であるため、(社)建設コンサルタント協会近畿支部「斜面防災委員会」では、補完手法として「法面簡易点検」の方法を提案した¹⁾。

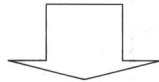
4. 法面簡易点検の内容と重要性

この点検手法は、「日常(通常)点検」と「定期点検」を補完するもので、1年に3~4回程度実施し、変状の変化量および遷移を把握することを目的にしている。具体的には、現在使われている法面保護工ごとに、考えられる変状を取り上げ、これを点検項目とした。これを表1の上を示す。本点検では、現地に出かけて斜面に存在する工種を対象として、点検項目ごとに点検しようとするものである。各工種に対する点検項目を整理統合すると、表1の下に示す15の点検項目になるため、これら15種類の点検項目ごとに簡易な変状把握手法を提案している。詳しくは、報告書¹⁾を参照されたい。この報告書では、点検結果を記録する書式も提案し、判定のための資料を記録することより変状の遷移を求められるようにしている。ポイントは、斜面に出かけて目視および簡易な測定で検査することであり、変状の変化量は、主として、構造物のマーキングポイントを対象としてミリメートル単位で、コンベックス等を用いて、迅速で簡易な把握を行うこととしている。なお、この際、各工種が負担すべき機能が損なわれておれば、これを除去することも好ましい。具体的には、排水路の清掃、雑木の除去である。

このような手法を提案することにより、1) 簡易な手法で変状および変状の変化量を把握することにより、早期の対応が可能となる、2) 変状の変化量は斜面の性能評価のための基礎資料となる、3) 点検の記録を残すことにより、定性

表1 工種ごとの点検項目と点検項目の整理¹⁾

工 種	点 検 項 目
①吹付工	①クラック, ②湧水, ③はらみ出し, ④空洞化, ⑤排水機能
②ブロック張工・コンクリート張工	①クラック, ②湧水, ③はらみ出し, ④排水機能
③排水工	①排水機能, ③洗掘
④法枠工	①クラック, ②フレームの浮き, ③はらみ出し, ④基礎の沈下, ⑤鉄筋の露出, 腐食
⑤擁壁工	①クラック, ②湧水, ③排水機能, ④基礎の沈下, ⑤移動, 傾き, ⑥鉄筋の露出, 腐食
⑥アンカー工	①頭部定着部材料の損傷, 腐食, ②頭部定着部の変形・沈下
⑦ロックボルト工	①頭部定着部材料の損傷, 腐食, ②頭部定着部の変形・沈下
⑧杭工	①杭の変位, ②杭周辺の沈下・盤ぶくれ
⑨植生工	①斜面の亀裂, ②生育, ③生育基盤の流出, ④有害植物・他植生の侵入
⑩落石対策工	①支柱の変位, ②ロープの緩み, ③基礎の沈下



点検項目の整理

点 検 項 目

①クラック	②はらみ出し	③湧水
④空洞化	⑤排水機能	⑥基礎の沈下
⑦移動・傾き	⑧洗掘	⑨鉄筋の露出・腐食
⑩頭部定着部材料の損傷・腐食・変形・沈下	⑪杭の変位, 周辺 の沈下, 盤ぶくれ	⑫斜面の亀裂
⑬支柱の変位	⑭ロープの緩み	⑮生育状況(基盤の流出・有害植物の侵入)

的な判定に加えて、定量的な評価のための資料を準備する、4) 簡易な点検であるため、カルテ対応斜面に限ることなく、すべての斜面が調査でき、それによってすべての斜面の台帳が整備できる、等が期待できる。加えて、この種の点検は、管理のための情報提供であり、点検結果を受けて補修のための詳細調査が次のプロセスにあるため、従来の管理責任体制を崩すものではない。簡易であるため、道路管理者のみならず、アウトソーシングにより国の事業の市場化にすることができる。

しかしながら、一番大きな特徴は、斜面の早期対応に加えて、将来必要とされる斜面の性能評価の資料となることである。これにより得られる資料を活用して、初めて、ライフサイクルコストやアセットマネジメント評価が可能になるものと思われる。地域や路線に応じた斜面の性能曲線の把握が大切である。

5. 降雨の年超過確率を考慮した道路斜面对策工施工優先順位の新たな求め方

維持管理を通して、危険斜面の把握ができたとしても、

路線にいくつかの要対策斜面が存在し、かつ限られた予算で、道路を保全する場合、優先順位の決定が非常に重要になる。まだ壊れていない斜面を対象として、しかも、上述した法面簡易点検手法による変状や変状の変化量が把握できていない場合、補修の優先順位の決定は、重要になる。

ここでは、変状に関する情報が得られていない場合の優先順位の決定手法の一例²⁾を紹介する。

一般に降雨時の斜面の安定性あるいは危険度は、崩壊のメカニズムに応じた斜面安定解析と雨水の斜面への浸透を取り扱う浸透流解析を組み合わせた解析により安全率を算定し、その値により評価がなされてきた。しかし、地盤強度定数などの解析に用いる入力物性値の精度によって得られる結果が異なるため、物性値のもつ不確実性(ばらつき)を考慮する必要がある。また、外力としての降雨については、通常ある一定の水分量を仮定して解析が行われてきたが、降雨には地域性があり、地域に特有の確率降雨量を考慮する必要があると考えられる。

そこで、本研究では素因である地盤の物性値のばらつきと誘因である降雨の地域特性を考慮した年間破壊確率を算定し、この値を指標として斜面危険度の評価を行う手法を提案する。なお、本研究では斜面崩壊の形態として、最も発生頻度の高い表層崩壊に着目する。図2に年間破壊確率 P_f の算定フローチャートを示し、以下に適用事例とともにその詳細を述べる。

(1) 適用地の概要

本研究では、兵庫県下にある国道沿いの9カ所の斜面を対象として本手法を適用した。対象とした国道は、花崗岩で構成されている急峻な斜面沿いを通っており、断層や地殻変動の影響を受けて、この地域の花崗岩は節理等の亀裂系の発達が著しく、また、亀裂系が密集しているところではマサ状花崗岩となり表層崩壊が発生しやすくなっている。斜面の傾斜はおおむね $30\sim 40^\circ$ を示し、斜面形状は明瞭な谷型、尾根型地形は存在せず、ほぼ平行型斜面である。

(2) 現地調査結果

9カ所の斜面(No.1~No.9)を対象に、簡易貫入試験器による表土厚層の測定と縦断測量を行った。なお、本研究では $N_{10} < 12$ の土層を表土層と定義した⁶⁾。得られた現地調査結果の一例として斜面No.5とNo.9の調査結果を図3に示す

(3) 斜面安定解析モデル

本研究では、降雨時の表層崩壊の斜面安定解析モデルとして沖村⁷⁾により提案されている雨水の集水モデルを用いた多平面安定解析(以下、単に多平面安定解析と称する)を用いる。このモデルは、自然斜面の表土層が n 個のブロックにより構成されている(基岩が n 個のブロックからなる潜在崩土層で覆われている)とし、この斜面上でもっとも危険なすべり面の位置と崩壊規模を求めることができる手法である。

自然斜面上の地盤の物性値(粘着力や内部摩擦角など)は、一般にバラツキを示すことが多いので、本研究では、有効粘着力 c' と有効内部摩擦角 ϕ' のばらつきを考慮するため、変動係数 V を既存の文献⁸⁾を参考に粘着力の変動係

数 V_c を 0.4, 内部摩擦角の変動係数 V_ϕ を 0.2 として, 変動係数と平均値の積から, 標準偏差を定義した。多平面安定解析に使用した物性値を表 2 に示す。これらの値は既存の文献^{6),9)}を参考に設定した。

平均値を用いて求められた結果の一例を図 4 に示し, 各斜面の最小安全率を表 3 に示す。この表より, 降雨を考慮しない場合では斜面 No. 4 で安全率 2.20 と最も高い値を示し, 次いで斜面 No. 2 (安全率: 1.75) という結果となっている。また, 斜面 No. 9 は安全率が 1.02 と, 対象とした斜面の中でもっとも安全率が低かった。

(4) 過去に崩壊を引き起こしたハイトグラフ

本適用地において, 過去に災害の原因となったハイトグラフを, 図 5 に示す。このときの降雨は, 連続雨量 199.0 mm, 最大時間雨量 64.0 mm/hr であった。本研究では, 図 5 のハイトグラフを基本降雨波形として用いることとする。

(5) さまざまな最大時間雨量におけるハイトグラフの作成

つぎに, この基本降雨波形を用いてさまざまな最大時間

表 2 多平面安定解析に用いた物性値²⁾

パラメータ	値(平均値)	標準偏差	確率密度関数
有効粘着力 c' (kN/m ²)	3.92	1.56	正規分布
有効内部摩擦角 ϕ' (°)	30.00	6.00	
湿潤単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	15.68	—	正規分布
飽和単位体積重量 γ_{sat} (kN/m ³)	17.64	—	
透水係数 k (m/hr)	0.20	—	
有効間隙率 λ	0.35	—	

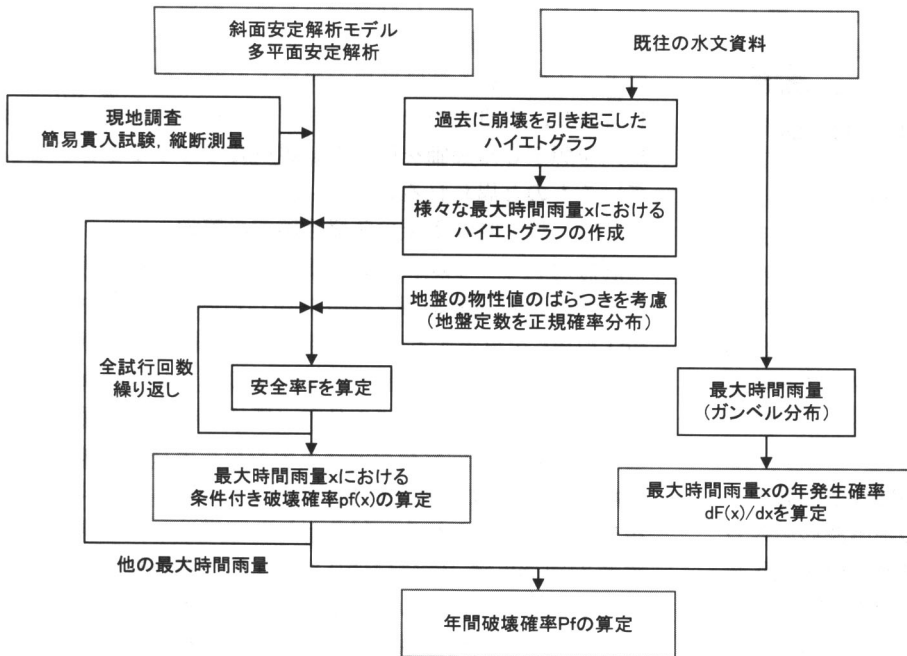


表 3 各斜面の最小安全率の算定結果²⁾

斜面 No.	最小安全率
1	1.33
2	1.75
3	1.43
4	2.20
5	1.17
6	1.33
7	1.19
8	1.25
9	1.02

図 2 年間破壊確率 P_f の算定フローチャート²⁾

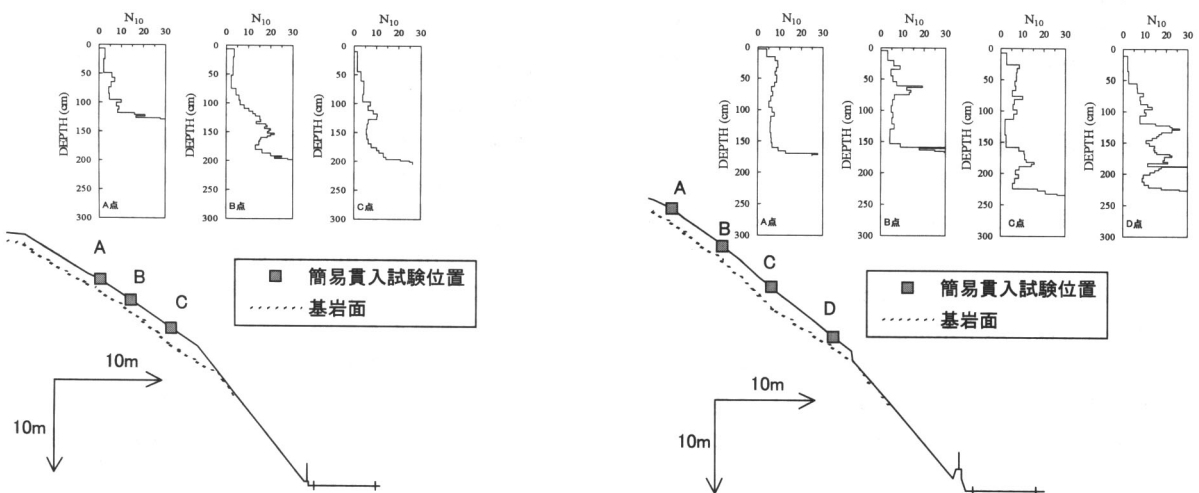


図 3 現地調査結果の一例 (斜面 No. 5 (左), 斜面 No. 9 (右))²⁾

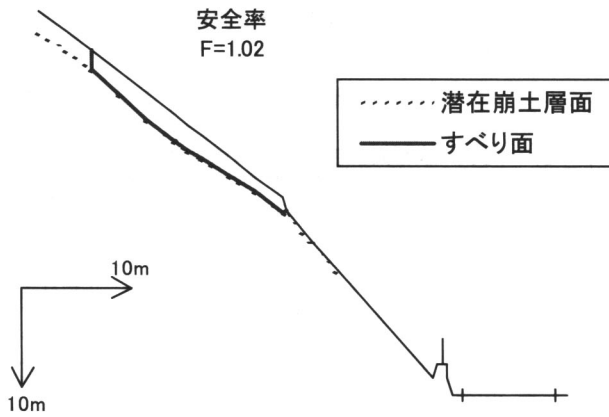


図4 結果の一例(斜面 No.9)²⁾

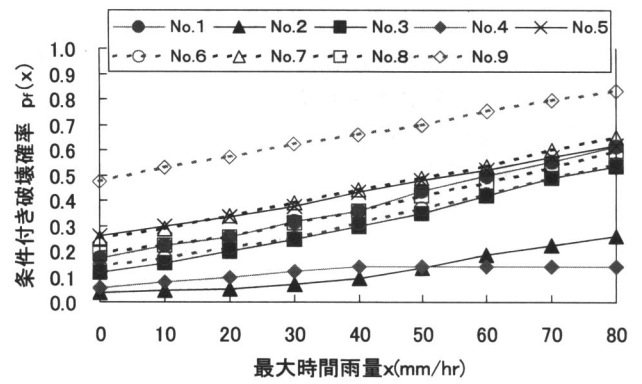


図6 斜面ごとの各最大時間雨量における条件付き破壊確率の算定結果²⁾

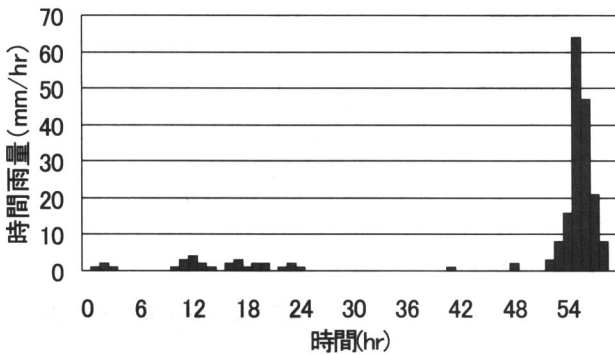


図5 過去に災害を引き起こした降雨波形²⁾

が斜面 No.2 に比して大きな値を示しているが、最大時間雨量 60 mm/hr 以上では斜面 No.2 の方が大きな値を示している。同様の傾向は、斜面 No.1 と No.8(最大時間雨量 20 mm/hr 以下では No.8 の方が大きい)、斜面 No.5 と No.7(最大時間雨量 10 mm/hr 以下では No.5 の方が大きい) にも見られる。これらのことは、ある一定の降雨量のみを仮定して危険度の評価を行った場合、仮定した降雨量によって得られる評価結果が異なる可能性があることを示しており、本研究のようにさまざまな降雨量(最大時間雨量)を想定した評価を行うことが重要であることを示唆しているものと思われる。

(7) 最大時間雨量の年発生確率の算定

評価対象とする地域における過去の水文資料を用いて、ある最大時間雨量 x が1年間に生じる確率(年発生確率) $dF(x)/dx$ を算定する。まず、年最大時間雨量の確率分布を決定する。一般に、年最大時間雨量のような年極大値の確率分布としては、ガンベル分布(極値分布)が適用されている¹⁰⁾ ため、この分布を使って求めた。また、最大時間雨量が x 以上となる確率(超過確率)分布関数 $F(x)$ は、1.0 からの差で求められる。対象とした国道沿いで観測された過去 24 年間の水文資料を用いて、年最大時間雨量の確率分布をガンベル分布として超過確率分布関数 $F(x)$ を求め対象とした国道沿いで観測された過去 24 年間の水文資料を用いて、年最大時間雨量の確率分布をガンベル分布として超過確率分布関数 $F(x)$ を求めた結果を図 7 に示す。この超過確率分布関数 $F(x)$ を用いて、最大時間雨量 x が1年間に生じる確率(年発生確率) $dF(x)/dx$ が算定される。この結果を図 8 に示す。

図 8 より、対象地域では最大時間雨量 20 mm/hr の降雨が最も発生しやすく(年発生確率: 0.32)、次いで 30 mm/hr (年発生確率: 0.29) という結果となっている。また、最大時間雨量 0 mm/hr と 80 mm/hr の年発生確率は 0.005 よりも小さく、対象地域ではほとんど発生しない降雨であるといえる。

(8) 年間破壊確率の算定

時間雨量 x における条件付き破壊確率 $p_r(x)$ および最大時間雨量 x の年発生確率 $dF(x)/dx$ を合積することによって、年間破壊確率 P_r を算定する。対象とする地域において、発生頻度の高い降雨から極めて稀にしか発生しない

雨量 x に応じた降雨波形をそれぞれ作成する。具体的には、ある最大時間雨量 x の降雨波形を想定する場合、基本降雨波形における最大時間雨量を x_{max} とすると、最大時間雨量の比 (x/x_{max}) をすべての時間雨量に乗ずることで降雨波形を作成する。

(6) 最大時間雨量における条件付き破壊確率の算定

最後に、作成したある最大時間雨量 x の降雨波形を入力波形とし、各試行において粘着力と内部摩擦角の正規乱数をそれぞれ発生させ、多平面安定解析により安全率 F を算定する。この操作を N 回(全試行回数)行い、安全率 F が 1.0 を下回った回数を使って、その最大時間雨量 x における条件付き破壊確率 $p_r(x)$ を求める。なお、本研究では全試行回数 N を 1,000 回とした。各斜面のそれぞれの最大時間雨量 x における条件付き破壊確率 $p_r(x)$ の算定結果を図 6 に示す。

図 6 より、各斜面とも最大時間雨量が大きいほど、条件付き破壊確率が大きくなっていく傾向が見られるが、No.4 の斜面では最大時間雨量 40 mm/hr を越えるとほぼ横ばいの傾向を示している。これは、No.4 の斜面は表土層厚が 0.3 m と薄いため、最大時間雨量 40 mm/hr 以上の降雨波形を入力した場合は、地下水水位が地表面に達したため、このような結果になったと考えられる。また、斜面 No.9 はすべての最大時間雨量において他の斜面に比して条件付き破壊確率が大きく算定されており、危険度の高い斜面であるといえる。一方、斜面 No.2 と No.4 に着目すると、最大時間雨量 50 mm/hr までは斜面 No.4 の条件付き破壊確率

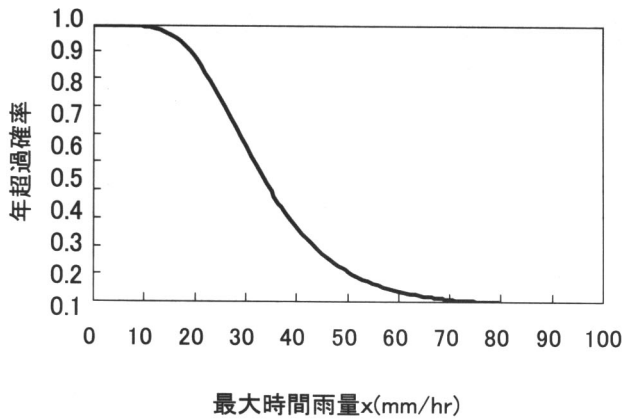


図7 超過確率分布関数 $F(x)^{2)}$

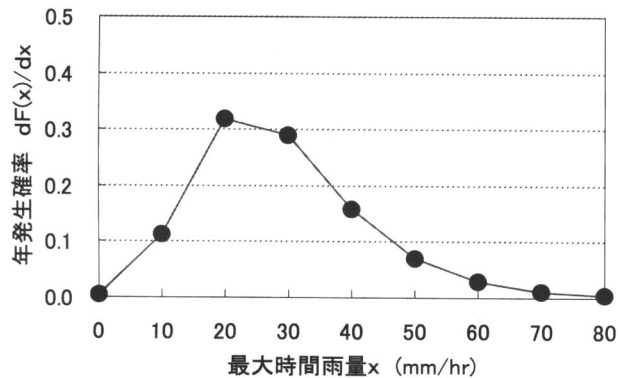


図8 各最大時間雨量の年発生確率の算定結果²⁾

豪雨までを考慮した斜面の年間破壊確率 P_f を算定する。この値が 1.00 に近ければ近いほど、危険度の高い斜面といえる。

本研究における結果を図 9 に示す。この図より、斜面 No. 9 の年間破壊確率が 0.612 ともっと大きな値を示しており、対象とした斜面の中で最も危険度の高い斜面であるといえる。斜面 No. 9 は、降雨を考慮しない場合の安全率も 1.02 と小さく(表 3 参照)、また、図 6 に示したようにすべての最大時間雨量において他の斜面に比して条件付き破壊確率が大きく算定されていることから当然の結果であるといえる。また、前述したように斜面 No. 2 と No. 4、斜面 No. 1 と No. 8 ならびに斜面 No. 5 と No. 7 では、異なる最大時間雨量の降雨によって条件付き破壊確率の大小が異なっているが、最大時間雨量の年発生確率を評価に入れることによって、対象地域の降雨の地域特性を考慮にいれた危険度の評価が可能となっている。これらのことから、年間破壊確率という指標が降雨時の斜面危険度評価にとって有効な指標であることを示していると思われる。

6. まとめ

本報では、社会資本ストックの一例である道路法面を対

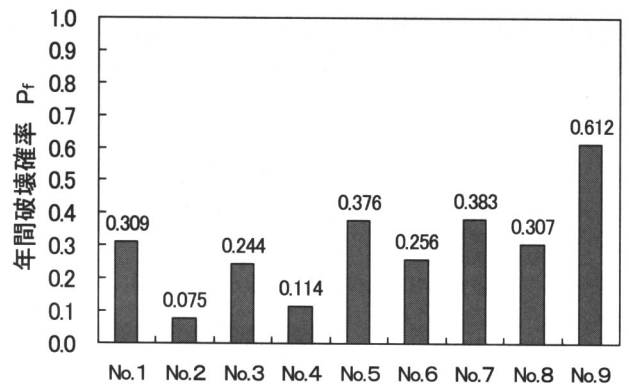


図9 斜面ごとの年間破壊率の算定結果²⁾

象として維持管理を行うことによって、その経費を少なくするための新しい管理手法を提案するとともに、限られた予算を効率的に使うための手法を紹介した。前者は、「斜面の性能」を定義し、性能設計としての基本データを与えるものである。今後、このようなデータが蓄積されることが望まれる。一方、後者の手法として、年間破壊確率を指標とした斜面危険度評価手法を提案し、ある国道沿いの斜面を対象に本手法を適用した。その結果、年間破壊確率を用いることにより、素因である地盤の物性値のばらつきと、誘因である降雨の地域特性を考慮した定量的な危険度評価が可能となることを示した。また、本研究では崩壊形態として表層崩壊に着目したが、他の崩壊メカニズム(例えば、円弧すべり)に対しても同様の手順を適用することにより、評価が行えるものと思われる。

参考文献

- 1) 斜面防災研究委員会：委員会報告書—斜面安定評価における劣化概念の導入—、建設コンサルタンツ協会近畿支部、資料 No. 06-3, p. 262, 2006.
- 2) 鳥居宣之・沖村孝：年間破壊確率を用いた降雨時の斜面危険度評価、地盤工学会、豪雨時の斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測に関するシンポジウム、85-90, 2003.
- 3) 地盤工学会：豪雨時における斜面崩壊のメカニズムと危険度予測、地盤工学・実務シリーズ 23, p. 184, 2006.
- 4) 国土交通省近畿地方整備局：道路巡回実施要領(案)、1981.
- 5) 日本道路協会：道路土工 法面工・斜面安定工指針、1999.
- 6) 沖村孝：数値地形モデルによる崩壊発生危険度の予知に関する研究、自然災害特別研究(2)研究成果報告書、pp. 88-138, 1985.
- 7) 沖村孝：潜在表土層分布を利用した表層崩壊発生予知に関する研究、新砂防、124, pp. 9-18, 1982.
- 8) 松尾稔：地盤工学—信頼性設計の理論と実際—、技報堂出版、pp. 21-22, 1984.
- 9) 西勝・沖村孝・谷口博之：自然斜面まき土のせん断強度分布が崩壊予知に及ぼす影響、土地造成工学研究施設報告、7, pp. 17-41, 1989.
- 10) 金丸昭治・高棹琢馬：水文学、朝倉書店、pp. 49-52, 1975.

トンネルを対象とした検査・診断技術の現状

こ じま よし ゆき
小 島 芳 之*

1. はじめに

地中に位置するトンネルは一般に安定した環境にあるので、他の構造物より耐用年数が長い。実際、今年で118年目の東海道本線保土ヶ谷―東戸塚間の清水谷戸トンネル(上り)のように、経年を重ねた多くのトンネルが現在も安全に供用され続けている。しかし、施工技術上やむを得ず生じた覆工背面空洞等の構造欠陥や、複雑な地形・地質に起因した地圧等の作用により、比較的早い時期にひび割れ等の変状が生じ、対策を余儀なくされる場合もある。特に、平成11年に相次いで発生した鉄道トンネルの覆工コンクリートの剝落事故¹⁾を契機に、土木構造物の安全性が強く問われ、維持管理の重要性が再認識された。これらの事象は、日本が社会資本整備一辺倒の時代から既存ストック保守の時代へ移行しつつあることの証左である。

図1は、我が国で供用されているトンネルのうち、水路、鉄道(JR)、一般国道、高速道路における年代ごとの累積延長の変化を示したものであり、用途によって建設年代の分布が異なるものの、これらを合わせると総延長1万kmにも及んでいることが分かる。これらは今後確実に経年を重ね老朽化に向かうことになり、いかにして永く安全に使用し続けるかは、重要な課題である。

トンネルの維持管理技術は、上述の平成11年の剝落事故以降、新技術を適用して急速な発展を遂げている。一方、

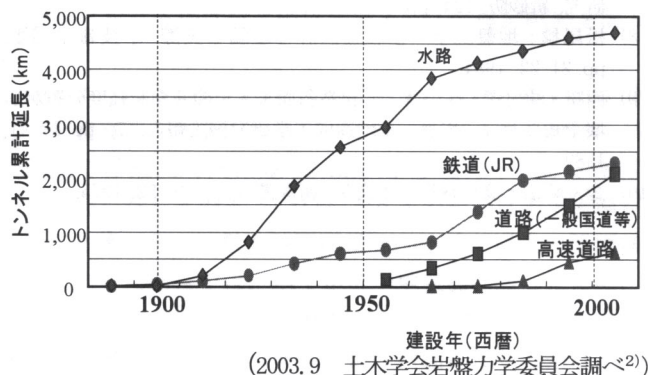


図1 日本のトンネル延長の変遷

このような技術の発展は、以前から積み上げられてきた経験的技術の蓄積があって成し得るものである。ここでは、老朽化したトンネルを多く抱え、早い時期から維持管理の問題に直面し、技術開発に取り組んできた鉄道トンネルを中心として、トンネルの検査・診断技術の発展の現状を述べる。

2. 変状事例と維持管理へのフィードバック

トンネルの維持管理技術は、過去の多くの変状等の経験によって得られた教訓を糧として発展してきたといっても過言ではない。そこで、鉄道トンネルにおいてここ数十年間に発生した変状(地圧等の外力の作用による変状と覆工片の剝落)や災害(地震等)の事例と維持管理との関係について、ごく簡単に整理してみる。

2.1 地圧等の外力の作用による変状

地圧等の外力の作用による変状が生じると、トンネル構造の安定性や建築限界支障、路盤部の安定性の低下が問題となり、補強が必要になることがある。

山岳トンネルでは、長期間作用し続ける地圧(塑性圧)によって内空断面の縮小や覆工の圧縮破壊(圧ぎ)、路盤の隆起等が徐々に進行し、補強を要した例は比較的多い(たとえば、信越線塚山トンネル(図2(a)), 函館線神居トンネル、等々³⁾)。また、地すべりによってトンネルが移動・変形し補強・改築が行われた例(たとえば、石勝線第四紅葉山トンネル⁴⁾、飯山線内ヶ巻トンネル³⁾)、さらにはルート変更を強いられた例(たとえば、中央線横吹トンネル²⁾)がある。

一方、都市部のトンネルでは、外力の作用による変状例は少ないが、揚水規制に伴う地下水位の回復による地下構造物の浮上りに対する対策(上野、東京地下駅⁵⁾)に見られるように、対策を要する場合は大規模になる。

以上の事例は、いずれも検査によってその兆候が把握され、大事に至る前に対策が講じられたものである。一方、変状が進んで列車事故(脱線等)に至った例は非常に少なく、人身事故に至った例は皆無である。このことは、トンネルの安全が適切な維持管理によって支えられてきたこと

* (財)鉄道総合技術研究所 トンネル研究室長

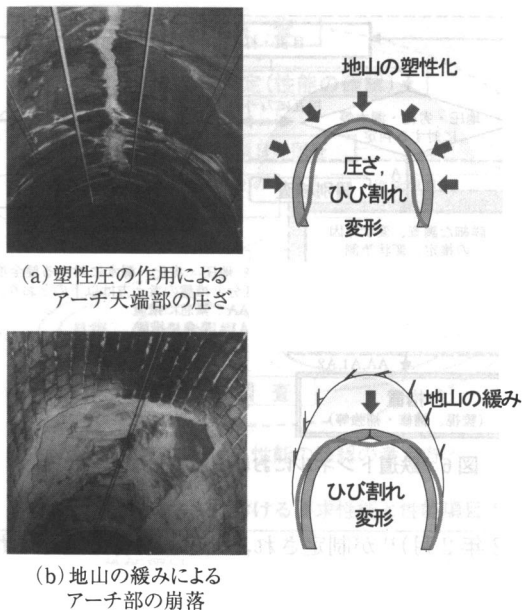


図2 地圧の作用による変状例

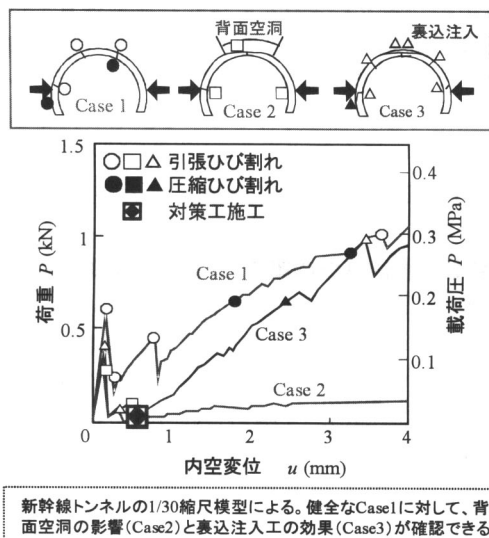


図3 模型実験によるトンネル覆工の変形挙動の比較⁶⁾

を裏づけるものであるといえよう。しかし、覆工が地山もろとも崩落する事故(たとえば、福塩線大迫山トンネル(昭和59年発生)³⁾、民鉄線Jトンネル(平成12年発生、図2(b))も稀に生じることがある。この点については十分に留意すべきことである。

これらの変状原因を究明し対策を講じる過程で、トンネルの変状メカニズムや健全度判定と対策の考え方が、整理・体系づけられてきた。たとえば、山岳トンネルにおいて変状や事故を防ぐための第一の方策は覆工と地山間の空洞充填(図3⁶⁾参照)であり、これが全ての対策の基本となっている。

2.2 覆工片の剝落

覆工片の剝落によって列車の運行支障が問題となることは少なくないため、その対策には、多大な労力が払われている。特に、次に示す覆工の剝落事故を契機として、鉄道トンネルの維持管理の手法が見直された¹⁾。

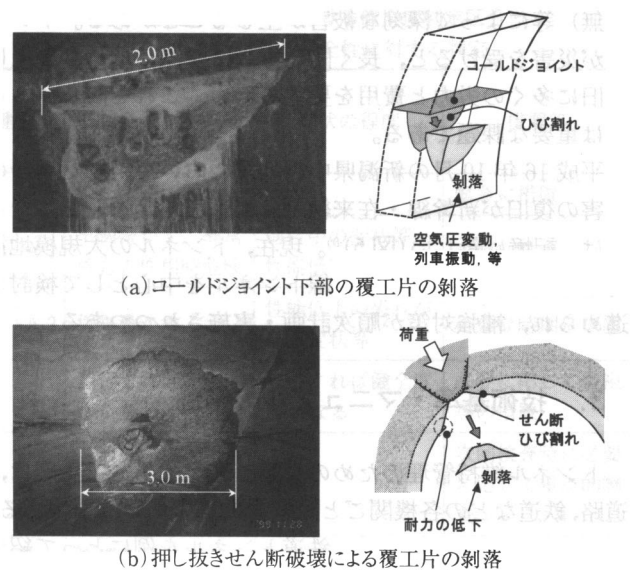


図4 覆工剝落事故の例(平成11年)¹⁾

平成11年6月、山陽新幹線福岡トンネル(図4(a))において、走行中の新幹線に225 kgの覆工コンクリート片が落下し車両を破損させる事故が生じた。その後、同年10月には山陽新幹線北九州トンネル、同年11月には室蘭線礼文浜トンネル(図4(b))においても、深刻な剝落事故が生じた。これらの原因究明の結果、覆工片の剝落は、ひび割れが10年、20年という長い時間をかけてゆっくりと進展し周囲を取り囲んだ段階で発生する、ということが確認された。ひび割れは、構造欠陥(乾燥収縮ひび割れやコールドジョイント、ジャンカ等)、土圧や材料劣化要因の作用に加えて、列車走行のたびに生じる坑内の空気圧変動によって徐々に進展するものと考えられた。しかし、ひび割れの進展速度は非常に緩慢なので、2年ごとに実施される全般検査の際に変状を見つけて必要なものに対しては叩き落とし等の措置を講じれば、剝落の発生を確実に防げることが示された¹⁾。

このことが鉄道トンネルの検査体系を見直すきっかけとなり、「トンネル保守管理マニュアル」(平成12年2月)⁷⁾が当時の運輸省により策定・通達された。現在、鉄道事業者はこのマニュアルを用いて検査を行っている(3章参照)。

2.3 災害とトンネル

トンネルは災害に強い構造物である。しかし、大規模地震(たとえば新潟県中越地震(平成16年))、豪雨(たとえば武蔵野線新小平駅(平成3年)⁷⁾、火災(国内では最近は



図5 新潟県中越地震での上越新幹線魚沼トンネルの被害⁶⁾

皆無)等によって深刻な被害が生じることがある。トンネルが災害を受けると、長く閉鎖された空間であるがゆえに復旧に多くの労力と費用を要するため、これを防止することは重要な課題である。

平成16年10月の新潟県中越地震において、トンネルの被害の復旧が新幹線・在来線ともに運転再開を左右したことは、記憶に新しい(図5)⁸⁾。現在、トンネルの大規模地震対策のあり方について新幹線トンネルを中心として検討が進められ、補強対策が順次計画・実施されつつある。

3. 技術基準・マニュアルの整備

トンネル維持管理のための技術基準・マニュアル類は、道路、鉄道などの各機関ごとに精力的に整備されつつある。その変遷と現状について、鉄道トンネルを例にとって紹介する。

3.1 技術基準・マニュアル化の変遷

鉄道では、昭和49年に「土木建造物の取替え標準」⁹⁾(以下、取替え標準)が国鉄により制定され、はじめて全般検査(全ての構造物で行われるもので、定期検査(2年を超えない範囲で実施)、不定期検査に区分)、個別検査(必要に応じて詳細に実施されるもの)という検査体系と、健全度をA(個別検査ではさらにAA, A1, A2), B, C, Sに区分する健全度判定の考え方が示された。国鉄では、この標準に沿って構造物の検査体制が整備され、維持管理が行われてきた。

昭和62年の国鉄民営分割以降も、JR各社はこの考え方をほぼ踏襲して維持管理を行ってきた。その間、技術の発展や上述した変状事例の蓄積等に鑑みて、鉄道総研を中心として下記に示すようなマニュアル類が作成され、維持管理の実務に供されてきた。

1) **トンネル補強・補修マニュアル**(平成2年10月; 鉄道総研)³⁾: 「取替え標準(トンネル編)」の改訂版として位置づけられるものである。鉄道トンネルの検査から対策工(地圧対策, 劣化覆工対策, 漏水・凍害対策)の選定の考え方を取り纏めたもので、国鉄, JRにおける多くの変状事例に基づいて作成された。

2) **既設トンネル近接施工対策マニュアル**(平成7年1月; 鉄道総研)¹⁰⁾: 近接施工の増加に伴って、既設の山岳トンネルへの近接施工対策(調査, 予測, 対策工, 監視計測)の考え方を取り纏めたものである。特に、切土・盛土, トンネル交差・併設, 発破等の影響を「近接度」に区分して評価する手法を示した。

3) **変状トンネル対策工設計マニュアル**(平成10年2月; 鉄道総研)¹¹⁾: 地圧による変状トンネル対策工の設計法を取り纏めたものである。塑性圧, 緩み圧, 偏圧に区分し、4段階の補強ランクに応じた対策工(裏込注入, ロックボルト, 内面補強, 内巻)の選定・設計の手法(標準設計法と数値解析法)を提案している。

一方、先述のように、平成11年の剝落事故の教訓を踏まえて、当時の運輸省により「トンネル保守管理マニュアル」

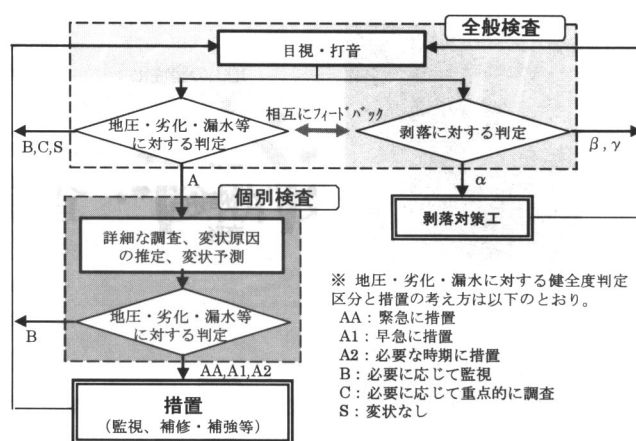


図6 鉄道トンネルにおける維持管理の流れ¹²⁾

(平成12年2月)¹¹⁾が制定され、鉄道事業者に通達された。

このマニュアルでは、①全般検査を初回・通常・特別全般検査の3つに分けて実施すること、②従来の健全度判定(ABCS)に加えて剝落に対する健全度判定($\alpha\beta\gamma$)も行うこと(図6)、が盛り込まれた。また、全般検査で行われる目視・打音の結果からの健全度判定に関する具体的な目安が示された。各鉄道事業者は現在、このマニュアルを踏まえてトンネルの維持管理を行っている。なお、さらに詳細に記述した「トンネル保守マニュアル(案)」(平成12年5月)¹²⁾が鉄道総研によって策定され、活用されている。

3.2 新しい技術基準の策定(「鉄道土木構造物の維持管理標準」)

鉄道の分野では、昨今の維持管理の現状や性能規定化の流れを踏まえて、トンネルのみならずコンクリート構造、鋼合成構造、基礎構造、土構造という全ての鉄道土木構造物を対象とした「鉄道土木構造物の維持管理標」(国の解釈基準)を作成中で、平成18年度中に策定見込みである。その概要を以下に紹介する^{13),14)}。

維持管理標準の作成にあたり、次の方針により維持管理の体系化を図った。すなわち、1)列車運行と旅客公衆の安全性を確保するための性能照査型の体系を構築する、2)幅広い技術レベルからなる全ての鉄道事業者に適用できる体系とする、3)すべての構造物に共通する体系とする、4)これまでの維持管理体系を大きく変更しない。

この基本方針のもとで、①維持管理の性能規定化、②検査の区分、③検査の周期、④検査員、⑤調査項目と方法、⑥健全度判定、⑦措置、⑧記録、の考え方と方法が整理された。トンネルについても、「トンネル保守管理マニュアル」の考え方を踏まえつつ新たな知見も取り入れながら、他の構造物とも整合がとれるような体系を構築した。

①の性能規定化の基本的な考え方は、図7に示すようである。そして、性能を安全性、使用性、復旧性の3つに区分し、安全性(列車が安全に走行するとともに落下物等により周辺の人命が脅かされないための性能)について取り扱うことにしている。トンネルでは、表1のような性能項目に整理した。

②の検査区分については、全ての構造物に共通した検査

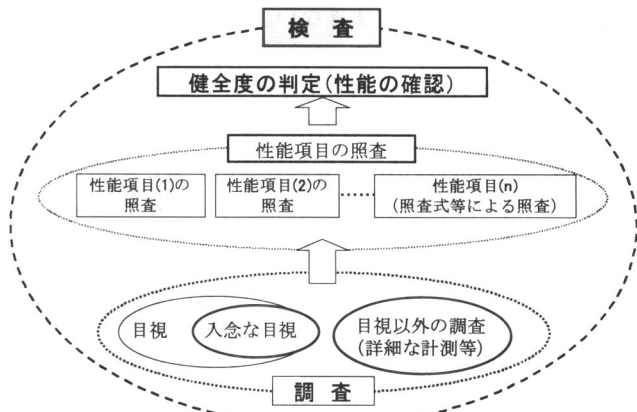


図7 検査における性能の確認の考え方¹³⁾

表1 鉄道トンネルにおける要求性能と性能項目¹⁴⁾

要求性能	性能項目	具体的な内容
安全性	①トンネル構造の安定性	トンネルが崩壊しない。
	②建築限界外余裕	建築限界を支障しない。
	③路盤部の安定性	列車の安全な運行に支障するような路盤の隆起・沈下移動が生じない。
	④剝落に対する安全性	列車の安全な運行に支障するような覆工片、補修材等の剝落が生じない。
使用性	⑤漏水・凍結に対する安全性	列車の安全な運行に支障するような漏水、凍結が生じない。
	⑥漏水・凍結に対する使用性	漏水・凍結が坑内設備の機能に影響を及ぼさない。
	⑦表面の汚れ	検査に著しく支障するような汚れがない。
復旧性	⑧周辺環境に与える影響	周辺環境に有害な影響を与えない。
	⑨災害時等の復旧性	復旧対策が必要となるような災害時の偶発的な作用を受けた場合でもトンネルが崩壊せず性能回復が容易に行える。

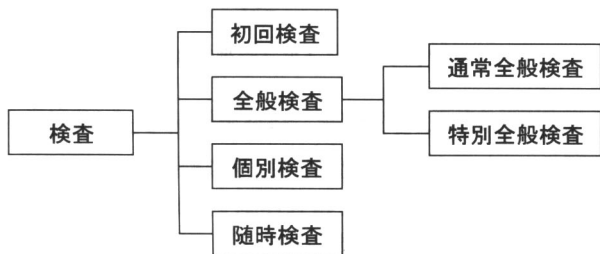


図8 鉄道構造物の検査区分¹³⁾

体系として、初回検査、全般検査（通常全般検査、特別全般検査）、随時検査が設定された（図8）。

- ・初回検査：初期状態の把握を目的に新設時当の供用開始前に実施する検査。
- ・全般検査：健全度の全体把握とともに個別検査や措置の可否を判定するための定期的な検査。
- ・通常全般検査：一定期間ごと（2年）に実施。

表2 鉄道トンネルにおける健全度判定区分¹⁴⁾

(1) 剝落以外の安全性に対する判定

健全度	運転保安、旅客および公衆などの安全に対する影響	変状の程度	措置等
A	AA 脅かす	重大	緊急に措置
	A1 早晚脅かす。異常外力の作用時危険	進行中の変状等。性能低下も進行	早急に措置
	A2 将来脅かす	性能低下の恐れがある変状等	必要な時期に措置
B	進行すれば健全度Aになる	進行すれば健全度Aになる	必要に応じて監視等の措置
C	現状では影響なし	軽微	次回検査時に必要に応じて重点的調査
S	影響なし	なし	なし

(2) 剝落に対する判定

健全度	変状の状態
α	近い将来、安全性を脅かす剝落が生じる恐れがあるもの
β	当面、安全性を脅かす剝落が生じる恐れがないが、将来健全度 α になる恐れのあるもの
γ	変状が認められるものの、安全性を脅かす剝落が生じる恐れがないもの

- ・特別全般検査：構造種別等に応じて精度を上げて実施。
※コンクリート、鋼・合成、基礎構造物では周期延伸を検討する場合等必要に応じて実施。
- ※トンネルでは新幹線10年、在来線20年ごとに必ず実施（「トンネル保守管理マニュアル」と同様）。
- ・個別検査：全般検査、随時検査で「健全度A」の場合に実施する検査で、変状程度および性能の把握、変状原因の推定、措置の可否や時期、方法等の精査を行う。
- ・随時検査：地震や大雨等で変状が発生した場合など必要な場合に実施。

③の全般検査の周期については、従来どおり2年を基本としつつ構造物の特性に応じて延伸できる条件が示される見込みである。ただし、トンネルの場合は剝落に対する安全性が重要であることから、延伸できないことになる。

さらに、④検査員のあり方、⑤調査項目・箇所等の重点化や調査方法、⑥健全度判定区分（トンネルの場合は「トンネル保守管理マニュアル」を踏襲（表2））、⑦措置方法の体系化（監視、補修・補強、使用制限、改築・取替に区分）、⑦記録のあり方についても具体的に言及した。

4. 新しい検査・診断技術

トンネル坑内は、暗く、狭く、長く、単調なため、一般に行われている懐中電灯片手の徒歩による検査には自ずと限界がある。一方、熟練技術者が減少しつつあることとも相まって、20年ほど前から検査の自動化が指向されてきた。特に、先述した剝落事故の経験をトリガーとして、客

観化・自動化・システム化が急速に進んできた。

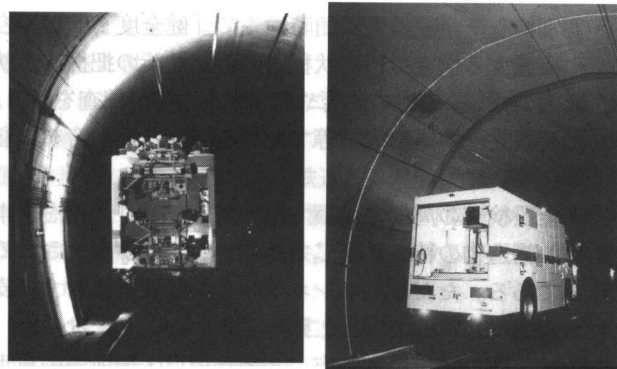
これらの技術の開発と導入は、道路、水路等の各分野でも活発に進められているが、ここでは、鉄道トンネルにおける動向を概観する。

4.1 目視・打音に変わる調査法

目視による全般検査を補完あるいはこれに代替する技術として、トンネル坑内を比較的高速で走行しながら覆工表面を撮影し、連続展開画像を得るシステムが実用化されている。画像を得る技術としては、まず1980年代からパノラマカメラ(近畿日本鉄道)や、スリットカメラ(JR西日本)が適用された。その後、ラインセンサカメラ(JR東海, JR北海道)(図9(a)), レーザー(鉄道ではJR東日本, 西日本)(図9(b))等によるシステムが実用化され、画像処理(図10)によって電子化された変状展開図の作成システム、さらに、他の検査データも併せたデータベースシステムに発展している¹⁵⁾。現在、さらなる高度化を目指して、測定速度やひび割れ等の変状検出精度の向上、画像の重ね合わせによって変状の進行性を抽出する方法の開発が進められている¹⁴⁾。

一方、打音に替わる技術として、浮きや空隙等の覆工内部の変状を自動的に抽出する手法も実用化されている。たとえば、熱赤外線により表層剝離を検知する方法(東京地下鉄)¹⁶⁾、電磁波によって覆工中の空隙等の欠陥を検知する方法(JR東日本)¹⁷⁾があり、いずれも車載化し一定速度で走行しながら面的な情報を得ることができる。

これらの検査システムは全般検査の目視あるいは打音調査に代替できるシステムとして位置づけられるが、いずれも高価であり、トンネルを多く抱える一部の大手鉄道事業



(a)ラインセンサカメラ (JR東海, 北海道) (b)レーザー (JR東日本, 西日本)

図9 覆工の自動撮影システムの例

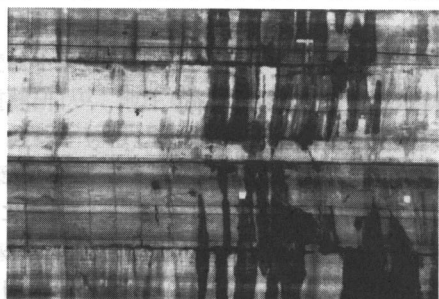


図10 覆工展開画像の例(ラインセンサカメラ)

者で実用化されているにすぎない。そのため、他の事業者も活用できるように、あるいは、個別検査に適用することを目指して、さらにコンパクトな撮影システム(デジタルカメラ, CCDカメラによる方法, 等)や内部検査システム(打音法, 衝撃弾性波法, 音響弾性波法, 等)が開発・実用化されている^{14), 15)}。

4.2 変状監視法

トンネルの変状監視や近接施工による影響監視には、ひび割れや内空断面の変化等の計測が行われている。この場合、変状状況, 監視の目的, 範囲, 期間, 頻度, 要求精度等に応じて、ひび割れ計測, 歪み計測, 内空変位計測, 沈下計測等が選択される。しかし、長い区間で長期にわたって常時監視する場合には、必ずしも十分でない。

光ファイバを例えば10kmという長い区間にわたって坑内に設置し、光ファイバに生じる歪みを計測することによって覆工の歪み, ひび割れ, 内空断面の変化を監視する手法が開発されている(図11)¹⁸⁾。また、より経済的な導電材料を覆工面に線状に設置することにより、覆工のひび割れ発生を導電性の低下によって検知する手法も開発されている¹⁹⁾。

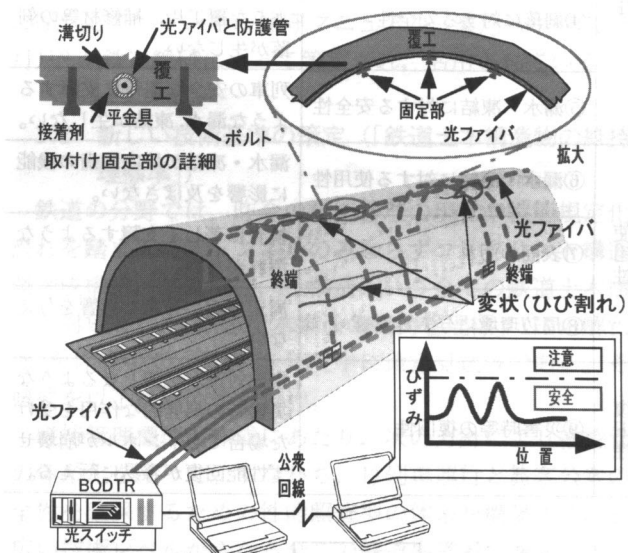


図11 光ファイバによる変状監視システムの例¹⁸⁾

4.3 データベースと診断・維持管理のシステム化

現在、各事業者は、変状展開図等の維持管理の記録を整備し、これを拠り所にした検査体制を整えつつある。また、さらに一層のシステム化を目指して、下記のような技術開発が進められている。

- ① 画像や電子化された変状展開図をもとにしたデータベースシステムが実用化されている(たとえば文献20))。さらに、事業者間の共通仕様により一元化された維持管理支援システムの構築も進められている。
- ② 検査結果をもとに健全度診断を自動的に行うことのできる健全度診断システムが開発されている(図12)²¹⁾。
- ③ 維持管理計画を効率的に進めるための一手法として、

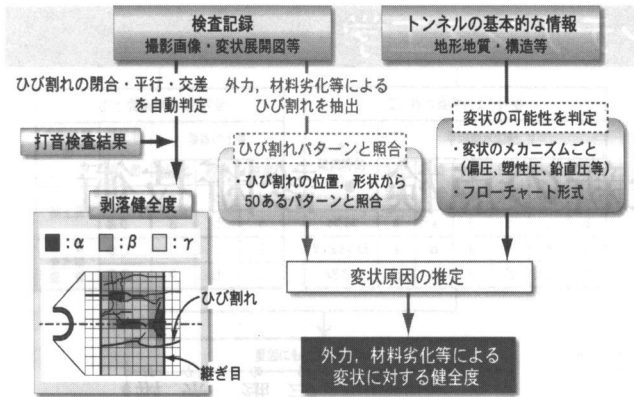


図 12 トンネル健全度診断システムの概要²¹⁾

最近注目されているリスクマネジメント等の手法の適用性についても、研究が進みつつある²²⁾。

6. おわりに

トンネルは一度造れば取替えのきかない構造物なので、永久的に使用し続けることが望まれている。しかし、経年を重ね老朽化が進むことは必定であり、維持管理技術をさらに高度化することは重要な課題である。

日本の関連学協会（土木学会、トンネル技術協会等）では、トンネルの維持管理手法に関する調査・研究が活発に進められている（たとえば文献 2), 5), 23))。このような活動により、道路、鉄道、水路、電力、通信等の各機関が各々個別に持っている経験、ノウハウ、技術が集約され、共有する機運が高まりつつある。このような動きは、トンネルの維持管理技術の発展にさらに拍車をかけるものと期待される。

一方、維持管理の技術は経験によって積み上げられてきた。的確な維持管理を行うためには、検査技術の高度化、維持管理のシステム化を図ることに加えて、経験と技術を持った技術者が検査にあたり、必要な場合に補修等の措置を行い、その結果を記録し将来に渡って活用できる体制の構築が必要である。そのためのしくみ作りが、ますます重要になっている。

参考文献

1) 運輸省：トンネル安全問題検討会報告書—事故の原因推定と今

後の保守管理のあり方—, 2000. 2.

- 2) 土木学会岩盤力学委員会：トンネルの変状メカニズム, 2003. 9.
- 3) 鉄道総合技術研究所：トンネル補強・補修マニュアル, 1990. 10.
- 4) 小西康人：地すべりによる鉄道トンネルの変状と対策—JR 石勝線第 4 紅葉山トンネル—, 基礎工, 2004. 9.
- 5) 土木学会トンネル工学委員会：トンネルの維持管理, トンネル・ライブラリー, Vol. 14, 2005. 7.
- 6) 朝倉俊弘・小島芳之・安東豊弘・佐藤豊・松浦章夫：トンネル覆工の力学挙動に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No. 493/III-27, 1994. 6.
- 7) 金子静夫他：武蔵野線新小平駅災害復旧工事, トンネルと地下, Vol. 23, No. 8, 1992. 8.
- 8) 清水満他：新潟県中越地震における鉄道トンネルの被害, トンネルと地下, Vol. 36, No. 5, 2005. 5.
- 9) 日本国有鉄道：土木建造物の取替え標準, 施設協会, 1979.
- 10) 鉄道総合技術研究所：既設トンネル近接施工対策マニュアル, 1995.
- 11) 鉄道総合技術研究所：変状トンネル対策工設計マニュアル, 1998.
- 12) 鉄道総合技術研究所：トンネル保守マニュアル(案), 2000. 5.
- 13) 市川篤司：鉄道土木構造物の維持管理標準(1)—全体概要—, 日本鉄道施設協会誌, Vol. 44, 2006. 3.
- 14) 小島芳之・鶴飼正人：トンネルの診断技術, RRR, 2006. 5.
- 15) 小島芳之・榎本秀明：トンネル検査の自動化を目指して(新しい鉄道トンネル覆工検査法の開発), 土木学会誌, Vol. 87, 2002. 7.
- 16) 石坂利一：赤外線画像によるトンネル検査システムの開発, 日本鉄道施設協会誌, Vol. 36, 1998. 2.
- 17) 大澤裕之・赤井明：トンネル覆工検査車の導入, 日本鉄道施設協会誌, Vol. 42, 2004. 12.
- 18) 六車崇司・小島芳之・吉川和之・朝倉俊弘・伊藤裕昌：光ファイバーによるトンネル変状監視法の検証試験, 鉄道総研報告, Vol. 16, No. 3, 2002. 3.
- 19) 小西真治・須藤幸司・深川良一・建山和由・毛利豊重：導電塗料を用いたひび割れ検知システムの研究, トンネル工学論文報告集, 2002. 11.
- 20) 藤井大三：土木構造物検査に使用する検査機器(4)—トンネル②—, 日本鉄道施設協会誌, Vol. 42, 2004. 4.
- 21) 津野究・小島芳之：トンネル健全度を自動判定できる診断システムの開発, 日本鉄道施設協会誌, No. 43, 2005. 8.
- 22) 小西真治・佐藤豊・仲山貴司：トンネル維持管理計画へのリスクマネジメントの適用方法, 鉄道総研報告, Vol. 19, No. 12, 2005. 12.
- 23) JTA 保守管理委員会：各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(1), トンネルと地下, Vol. 37, No. 4, 2006. 4.

河川堤防を対象とした最新の点検・診断技術

宇野 尚雄*

1. まえがき

河川堤防は行政が管理する構造物であるが、近年制定された「設計指針」等とくに概略点検、詳細点検から質的整備やモニタリングのガイドラインの設定に至った平成16年は、期せずして頻発する水害に見舞われた。この著しい河川災害は、温暖化などを含めた自然環境の変化に起因するか、我が国の治水機能が低下しているか、など種々の話題が喚起された。いずれにせよ、河川堤防を取り巻く環境には技術的課題の他に長大かつ歴史的構造物としての性格が関係する。

行政と技術者に課せられている課題は、具体的かつ効果的な堤防の安全性を把握して的確な対策をとることである。

本文は河川堤防に関する診断・保全技術について、現状と今後に向けた開発課題に触れる。

2. 河川堤防の点検や診断に関する現状

2.1 設計・維持管理上の課題

国交省では長年にわたり、表法面の「洗掘」、 「漏水」(堤体浸透による浸透破壊)、「越流」(堤防高さを越える河川水流による破堤)の3種類に分類されてきた。これに対して、設計指針は前者の2形態に対する設計指針を示しているが、越流には示していない。越流による災害は近年多い現実にも関わらず、そのメカニズムが究明されていないために設計指針が示せないことが原因しているが、次のように単純でない。

全国の一級河川堤防を調べても、HWL プラス余裕高さであるべき堤防高さが確保されていない未完成堤防と呼ばれているものがかなりの箇所が存在する。その上、近年の集中豪雨の頻発に対して堤防を高くすることは安定性向上のように見えても逆に破堤のときの被害が甚大になると懸念する考え方や、親水性を損なうとの見方や事業効果を疑問視する風潮があって、堤防高さを補う工事への反発があるように見られる。また、越流しない堤防でも安定性の不

足する堤防が未だかなり存在する現実も認めざるを得ない現状である。

このため、堤防高さ管理が頻発する豪雨という水文現象設定とともに重要な課題である。

2.2 行政上の課題

(1) 「設計指針」と2ガイドラインまでの流れ

平成12年6月の「河川堤防設計指針」に続いて14年7月「河川堤防の構造検討の手引き」に至って国交省治水課の考え方が固まった模様である。その内容の骨子は「概略点検」と「詳細点検」による点検業務が基本である。前者の「概略点検」は、図1に示す要因によって段階的に判定される¹⁾²⁾。①堤防土質条件、②基礎地盤条件、③外水位・外力条件、の3要素について既存データに基づいて、安全な方のAから危険なDまでの4段階に分類判定する。

概略点検で危険と判断された断面の堤防について順次「詳細点検」する。最終的な総合評価は「被災事例」の有無によって判断が決定的になる点に異様さを感じるが、これは被災をした堤防が全て原因究明できて懸念する要因を除去できるほどに対策ができていないことを暗に認めた形である。

平成16年にガイドライン(質的整備:強化工法判定基準、モニタリング)の二つが施行された。質的整備ガイドラインは強化工法の判定基準である。モニタリングガイドラインは点検に基づいて実施した強化工法の効果を判断せねばならないために、計測と目視による監視手法の勧めが基本精神である。具体的なモニタリング手法を明示したものではない。

(2) 「詳細点検」の内容

詳細点検の基本は、「浸透計算による発生間隙水圧の推定」(浸透計算)に基づく「すべり面計算による安定計算による安全率評価」(安定計算)の2個の内容からなる。前提条件として、堤防形状、土質構成、構成土質の力学定数(透水係数と水分特性曲線:浸透計算へ、土質の単位体積重量 γ と強度定数(粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ):安定計算へ)などのデータが必要である。現在は「水分特性曲線」が土質によって3種類に分類されたパターンで扱われている不可解さはあるが、浸透計算は飽和不飽和浸透計算が実施され

* 広島工業大学教授 工学部・都市建設工学科



図1 概略点検の流れ（要因(1)土質条件と(2)外力条件による評価からランクA～Dの4段階評価後、被災履歴の有無による、安全性の概略評価ランク決定の流れ）

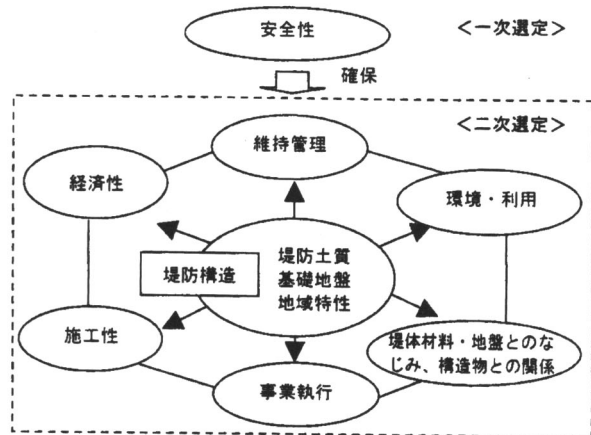


図2 質的整備の強化工法選択基準

ている。一方、安定計算は変形計算できる時代にもかかわらず円形すべり面計算法によっている。「設計指針」における、すべり面計算法における計算式の扱いは全応力法によるとされているが、強度定数の設定と関係して、多くのコンサルタント技術者が混乱している原因となっている点は後述する(3.2(5)参照)。

(3) 質的整備ガイドラインからモニタリングへ

平成16年6月二つのガイドラインが公布された。一つが「質的整備に関する技術ガイドライン」で、図2のように、効果的な堤防対策工法の選択基準を示したものである³⁾。

一次段階として「安全性」のあることが絶対条件、二次段階として「維持管理」、「施工性」、「経済性」、「環境・利用性」、堤体との「なじみ」、「事業執行性」の6視点から判断する必要性が指摘されたものである。これに対して、国交省は対策工法の効果について判定資料を十分に把握するために、「計測モニタリング」の実施および点検業務を充実させる狙いを込めて「計測」と「目視」手法による「モニタリング技術ガイドライン」で診断を強化することとなった。しかし、多数の目視した結果の利用方法は、現場にフィードバックされるシステムにまで確立されていない。目視項目の重要度の差も評価しがたい。モニタリングの効果的な利活用システム工夫が期待されている。

2.3 研究上の課題

河川堤防に関する問題を考えると、種々の課題が山積している。以下に箇条書きすると、

- ① 概略点検手法の改善（その可能性）
- ② 詳細点検における課題
 - ・ 透水係数評価、鉛直に対する水平動水勾配の区別
 - ・ 強度評価のための試験法やすべり計算式などへの学術的対応（全応力と有効応力の区別）
- ③ 目視モニタリングの活用法
 - 概略点検等への活用の可能性、観測データの蓄積と活用、効果的なモニタリング法と活用法など
- ④ 各種の計測法の確立
 - ・ 浸潤面（間隙水圧）の計測（浸透性状評価）
 - ・ 力学定数（透水係数と強度定数）の推定・確認
 - ・ 関係深い密度（間隙比等）データの蓄積
- ⑤ 越流に強い堤防の研究（材料開発含め）
 - 天端および裏法面構造と越流水深、越流継続時間との関係などの究明（耐越流設計指針の確立へ）
- ⑥ 河川計画上の課題（流出率と地域開発、河川安全性、未完成堤防の消滅への道筋、…）

3. 「形状」、「土質」、「基礎地盤」の診断ポイント

河川堤防の設計視点は、「形状、土質、基礎地盤」の3点に焦点が当てられる。なぜ堤防が「基本断面形状」と呼ばれる経験的な成果となったかは論理的に説明しがたいが、規模によって複断面や護岸を設置する、一般的には台形形状である。しかし、その是非はすべり面計算による安定計算で確認する形式である。第2の「土質」は土質種類、密度に応じた強度と透水係数が堤防安定上で重要な要因で、詳細点検で必修の要因である。第3の基礎地盤は、概略点検の一つの判断指標となっている。

3.1 河川堤防の「形状」

質的整備に関する技術ガイドラインに触れられているように、各河川で歴史的に耐えてきた「基本断面形状」の確保が必要である。その形状には、河川の河相・出水性状、多い土質性状、基礎地盤とのおよび護岸や芝工などの付帯構造物との関係も配慮されているようである。別名は「堤

防定規」とも呼ばれ、基本的に台形状で、大規模になるにつれて単断面から複断面となって小段がある。形状要因の中では、高さ（余裕高を含め）、表裏の法面勾配、天端幅、護岸等の付帯構造物、などが注目されよう。浸水を受ける盛土構造物として安定性が保証されることが要求される。なお、新指針では、表裏の法面を一枚法勾配、すなわち小段をなくする方向が維持管理に良いと改定された。

水衝部や侵食部には護岸等の異種材料の使用が、浸透水の軽減や洗掘防止に資する。

都市周辺の堤防は、既往の堤内地利用に影響され、十分な断面が採用できない地点では、可能な強化工法の採用で堤防の安全を確保しなければならない。

形状でも、断面でなく流路との関係が強い「堤防法線形状」は、橋脚、堰など付帯構造物と河川流水の水利特性と関係して、中小河川では弱部を形成することがある。

3.2 堤防「土質」の診断ポイント

堤防の土質は、流域の土を採取されているから、基本的に各河川ごとに地域特性（多く産出する土砂で構成される）が現れる。淀川堤防は、中流域では基礎地盤が砂質土の多い「ザル堤防」的性格があり、吉野川など四国の河川も類似している。しかし淀川支川の桂川堤防は部分的に粘土質成分が多い、などの特徴を把握してそれらの影響が現れる現象に注意する。

土質が影響する要因は、①堤防断面の土質構成、②それらの土層の締固め度、③個々の土層の透水係数とせん断強度、である。透水係数は洪水・豪雨の堤防内への浸透に伴う間隙水圧の発生・消散に関係する。せん断強度は堤防のすべり破壊に対する安全率に関係する。

(1) 土質構成

堤防は長年にわたって築堤されているので均質でなく、異なる土質で構成されている。土質強度的には強ければ良いけれども、透水係数の低い土質が裏法面に分布することは避けねばならない。堤防内部に蓄積する間隙水圧を速やかに除かずに、その透水性の悪い土質部分を押し流すように破壊するからである。「堤防には浸透水を入れ難くし、入った水は速やかに排除する」のが原則であり、質的整備ガイドラインに触れられているが、強度を良くするために裏法側に細粒土を使いやすい傾向が裏目に出やすい。

(2) 締固め度

各種盛土と同様に、河川堤防の施工に当たっては、土質の締固めは平均締固め度、密度などで管理されているが、強度基準が規定されていない。堤防の安定性評価のために土質の強度を試験する必要がある。最大乾燥密度の80%以上が目標になっているが、建設から長期間を経た堤防は地震や洪水を経験してきて緩んでいる懸念がある。特に、突貫事業として築堤した堤防は緩んでいて、運良く均質堤防であるために排水性が良く救われていることがあるが、極めて緩い堤防が散見されるので、強度的な過不足を確かめねばならない。

(3) 土質構成の弱部

この弱部発見は極めて重要な診断項目で、地層の繋がり

部、異種材料でできた付帯構造物との接触部、浸透水が集中しやすい裏法尻部、斜面勾配の変化する高水敷や低水敷部分、を中心に点検が重要である。

(4) 透水係数の評価

これは個々の土質層に関して重要な要因2個の一つである。透水係数は、細粒土であれば小さいが、試験値は 10^{-2} cm/s、 10^{-1} cm/sのように値が1/10倍や10倍にばらつきが激しいので、後述するように、オーダーを見損なわないよう現地条件を再現した調査・試験になるよう配慮が必要である。また、一様な全断面の施工でないために、土質構成が異なる影響を評価することが極めて困難な状況にある。すなわち、現地の透水係数を正しく評価することは至難である。しかし、土質粒度が密度とともに決まれば推定近似式も多数あるので⁴⁾⁵⁾、それらの活用に期待ができる。

具体的で効果的な方法は、観測事例が少ないが、洪水時の堤防内浸透による計測水頭を再現できるように浸透解析による逆算で評価した透水係数を確認（推定）することが最善だろう。また、出水時の堤防漏水量を観測すれば堤防の全体的な透水係数が確認できる。

原位置での密度または間隙比が把握される必要があることを強調しておきたい（原位置で透水試験するときも）。ここでは、その利用により可能な福田らの方法を説明する。これは個数基準に基づく粒度分布という視点を取り入れて50%粒径と均等係数および間隙比を考慮できる推定式を理論的に誘導して提案したもので⁴⁾、次のようである。

- ① 均等係数 U_c から粒度の標準偏差 σ_w を計算する。

$$\ln(\sigma_w) = 0.484 + 0.420 \ln(U_c)$$

- ② 土の真比重 G_s 、50%粒径 D_{50} 、間隙比 e を用いて、平均間隙径深 h (mm) は次式で計算する。

$$h = \frac{0.3D_{50}}{\exp\{0.5 \times \ln^2(\sigma_w)\}} \times \frac{e}{G_s} = d_c \times \frac{e}{G_s}$$

- ③ 透水係数 k (cm/s) は次式で計算される。

$$\ln(k) = 2.87\{1 + \ln(h)\}, \text{ (ただし, } h: \text{ mm)}$$

これは粘性土でもかなりの精度で評価できることを確認したものであるが、細粒分の多い土の均等係数とくに10%粒径の算出には特別な配慮が必要であり⁴⁾、これを違えると適用性が低下する懸念がある。筆者は上記の方法で第3者が整理した客観的結果をみたいと願っている。均等係数とくに細粒土の10%粒径の取り方に福田らの配慮が採用されている必要がある。透水係数は指数のケタ数および有効数字1桁の把握が重要である。

(5) 強度定数の評価

現在の河川堤防設計指針では、不飽和土に対するせん断試験機が未だ普及していないことを前提に作成されている。したがって、指針では土試料が不飽和であるけれども、「粘性土にはUU試験、砂質土にはCU試験(間隙水圧考慮しない)」をそれぞれ推奨している。このために不飽和土としての体積変化は間隙空気部分の圧縮量と区別して計測されない。粘土に対するUU試験は良いけれども、砂質土に対するCU試験の結果の強度定数を用いて、すべり安定計算式は「浸透計算」により求まる間隙水圧を考慮した式(疑問がある)に基づくこととされ、技術者を悩ませる状態に

ある。

規定の CU 試験（圧密非排水試験）と CD 試験（圧密排水試験）の両方の試験結果を出している例を示そう。砂礫層の砂に対する試験結果を基に⁹⁾、図3はこれを一括して「垂直応力～せん断強さ」関係で描いたものである。一つのデータを除くと、ある垂直応力レベルの範囲では、せん断強さに大きな差がないので、CU と CD の試験法の選択の誤差は少ないかも知れない。出水時の堤防を評価するので、飽和時の強度的に弱い方が安全側にできる。

締め土の管理基準を検討する立場から、等体積型の一面せん断試験により「等体積せん断強度と等価先行圧密圧力」関係を含水比に影響されない形式で評価している太田らの手法が現実的かも知れない⁷⁾。不飽和土は間隙空気部分の高い圧縮性があり、体積変化が目立つ⁸⁾。結果的に、等体積せん断試験法を基本として評価し、それが危険側か安全側かの確認点検を進めながら、間隙水圧を考慮できる CD 試験など有効応力による方法へ改善するべきではないかと考える。

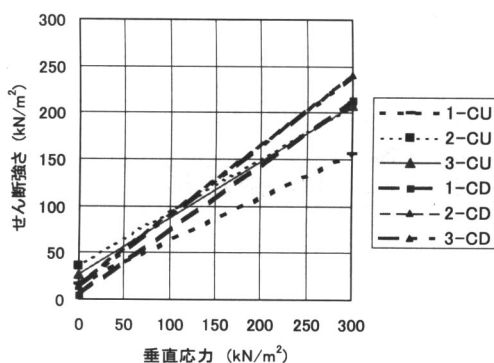


図3 CU 試験と CD 試験結果の相違

3.3 「基礎地盤」診断のポイント

(1) 土質の影響

概略点検の判定基準によれば、土質が粘土であれば、地下水や浸透水に影響されないとして安全性は高く評価される。粘土層が表層の薄い層であるときは被圧地下水圧に対応すべきである。一方、基礎地盤が不透水性であれば、堤防の裏法面まで浸透水が到達するのに透水性基礎に比べて極めて遅いこと、したがって裏法尻付近が浸透破壊を受ける機会が減少する。高い透水性基礎地盤のとき発生する現象は、*ガマ*（地震時の噴砂クレーターに類似して、水が吹き上げてできる噴砂孔）である。*ガマ*は堤防に近いが否かより、その*ガマ*が拡大進行する可能性、つまり地盤破壊との関係把握が必要で、放置できない。対策は、その高い透水性基礎地盤に河川水から繋がる、水みちを塞ぐための表護岸下部に打つ矢板工が常套手段だった。近年はその効果が維持管理する上で効率的でないとの見方が定着している。

(2) 支持力不足の視点

基礎地盤は堤防を支持する強さが必要である。粘土でも軟弱ならば堤防に必要な築堤荷重が支持できない事態が生

じる。日本海側の円山川、由良川に限らず、太平洋側の淀川、木曾川南部の粘土地盤には注意が要り、特に地震時の強度不足が懸念される。堤防に対する安定性評価はすべり面計算によることが多用されているが、支持力不足という見方で対応する必要もある。厚い粘土層による圧密沈下に伴う堤防の高さ制御の課題も生じる。高さ不足は越流原因になりやすい。

(3) 法尻付近の「水平動水勾配」

裏法面の法尻付近の小崩壊は発生しても、緊急応急的な処置（水防活動）、裏法尻部の傾斜は「空石積み」、「空石張り」で補強処置が取られてきた。すなわち、裏法尻対応が現場で種々工夫されてきた。

一方、現行の「河川堤防設計指針」や「手引き」では、限界動水勾配の照査を、鉛直方向と水平方向で同じ限界基準値 0.5 で判定する。この基準値 0.5 の根拠は、鉛直方向の理論的な限界動水勾配約 1.0 を安全率 2 で除したものである。しかし、水平方向の限界値は鉛直より小さく、法尻傾斜等により 0.3～0.5 に低減するので、指針で安全と点検されても危険となることがあるので技術者は注意しなければならない。中小堤防では裏法尻部付近の「水平方向の動水勾配」が基準値 0.5 を超えることがある。水平方向については、ほとんど余裕がない状態が多く、水平方向動水勾配をチェックする限界値としては、0.2～0.3 程度を採用しておく見当ではないかと考える^{9)～10)}。より厳しく設計において水平動水勾配を抑制する必要がある。

4. 堤防の診断

4.1 概略点検 4 段階の安全率

概略点検の A～D 評価を安全率で試算・評価すると、表 1(a) および (b) である。前者は仮定した堤防条件に対する試算であり、後者は実際のある堤防 M, N に対する評価業務実績を整理したものである¹²⁾。4 段階評価が意外なほどに良好な傾向を表現していることが判明した。

表 1(a) 安全率評価（モデル断面）

堤体・基礎地盤の土質条件による評価	外力条件による評価	要因に基づく評価	安全率Fs			安全率Fsの範囲
			1	2	3	
a	c	B	1.87	2.59	3.55	1.87～3.55
			1.02	1.05	1.87	
			1.34	1.14	1.89	
b	c	C	1.24	1.18	1.77	1.02～1.89
			1.77	1.11	1.28	
			1.13	1.29	1.11	
c	c	C	1.48	1.77	1.41	1.11～1.77
			1.2	1.32	1.17	
			1.31	1.41	1.3	
			1.24	1.35	1.27	

表 1(b) 安全率評価（M・N川堤防）

要因に基づく評価	安全率Fs				安全率Fsの範囲
	1	2	3	4	
B	4.1	2.6			2.6～4.1
C	3.1	1.8	2.2	3	1.8～3.1
D	1.08	1.54	1.51	2.08	1.08～2.56
	2.56	1.94	1.64	2.2	
	2.11	1.74	1.51	1.81	

表2 モニタリング目視項目から考える破壊形式

目視対象	目視項目	堤防対応と現象	重要性	破壊形式・危険な兆候の内容
基礎地盤	ガンマ（噴砂）	地盤の土質構成	△	噴出水量の他に、濁りや土砂噴出の有無、ガンマ規模の拡大傾向の有無。ガンマ（噴砂）発生の際の平面的分布に注目。
	隆起・陥没	同上	◎	地盤破壊の兆候で、原因を明確に把握する必要。
裏法面	小段の漏水・泥浄化	土質構成	○	河川からの浸透水のときみずみち（究明は困難：出水時の詳細な観察に期待）懸念。雨水が浸透した漏水のとき晴天で消滅。近傍の堤防土質が細粒のとき排水不良多く、漏水と識別すべき。
	裏法尻漏水	同上	◎	「 濃みと水量と濁り 」が鍵。濃みは排水性と、水量は堤体土の透水係数と対比。濁りは堤体土の内部侵食を懸念する。
	亀裂の有無	同上	◎	滑り破壊面か、地震後の発生か、いずれも規模が重要点。亀裂両側表面の高さにズレの有るとき、滑り破壊へ。
裏法尻	漏水・濁り	堤防土質	○	通常みられるが、「 水量と濁り 」が鍵。水量は堤体土の透水係数と対比。濁りは堤体土の空洞化を懸念する。
	浸潤状況	土質構成	△	浸潤線の高さにより○に。滑り破壊の懸念。
天端	わだち、沈下	堤防土質	△	天端の沈下原因が判断の分かれ目。天端からの滑り懸念。堤体の「 濃み 」：強度低下懸念。堤体内部の空洞の発生懸念が怖いこと。
	亀裂	浸透、基礎地盤	◎	通常の亀裂は法線に沿う方向。亀裂の長さや深度が重要。滑り破壊、または支持力不足の場合懸念。
	樹木の倒伏	侵食	△	高水敷への影響（根元は表層土約50cm深さ程度の無効化）
高水敷	侵食	同上	△	湾曲部等の水衝部、流速（侵食速度）、堤体幅、の程度
	泥浄化	同上	△	裏法面と小段、取付け道路等でできる凹地形表面（水溜り）
表法面	法面侵食 法崩れ	同上	◎	高水敷浸食等の河川水の侵食とすべり破壊とあり。堤体断面積、のり面勾配へ影響。
	陥没等の変状	侵食	○	堤体内部の空洞発生懸念。表面の小規模陥没も多い。
	亀裂の有無	同上	◎	亀裂面の出口（滑り破壊規模）確認が重要。
その他	護岸等境界付近の侵食	附帯構造物関連	◎	特に、見えない堤体部の変状の影響見極め。低水護岸侵食多い。
	構造物周辺の侵食	同上	◎	接触部の隙間は侵食が拡大するので危険な要因。
	護岸の陥没	同上	○	表層における空洞発生懸念。内部調査する。

4.2 診断から強化工法へ

堤防の診断体制が整い始めたところであり、強化工法の効果を確認するだけでなく、出水時の堤防の危険な兆候をモニターできれば効果的である。

危険箇所を探る概略点検は、一面では堤防の監視、モニタリング業務でもある。堤防に働く外力としての地震や出水豪雨により、ある箇所の堤防が傷む。それを維持管理する立場では、目視または計測により把握する。モニタリングガイドラインでは、その目視項目の数は数十項目に及び、容易なことでは全体像を把握することが困難である。このため、目視項目の重要度、その影響度を明確にして、それらの効率的な活用を進めたいと考えるが、具体策は容易ではなく、改善すべきことである。平成16年秋から国交省ではモニタリング委員会が設置されて検討されている。

目視モニタリングの約20項目を表2に例示した。それらの目視項目が関係する破壊形式との関係に注目して、◎、○、△の重要度表現は今後研究課題であるが、筆者の印象的な評価である。これらの数値化には、図1の概略点検の要因の細分化や数値化データと合わせた条件設定に工夫改善、すなわち、システムティックな活用法の開発が期待されている。

目視項目の中で気がかりな2点について補足したい。すなわち、その観察データを堤防関係の情報活用に逆解析する意図を持った収集整理する体制が期待される。

(1) 亀裂や表層すべりへの対応

発生する箇所により亀裂の意味が異なるが、両側の表面の高さに差がないか否か（差があるときすべり破壊が想定され、差がないとき乾燥収縮など想定）、さらに亀裂の行き先を見極めることが必修である。天端のときは大きな破壊規模を、斜面内のときは法尻部から浅い堤外地盤への破壊規模を想像する。点検業務で作成された情報との照合が重要な堤防断面の土質情報にあることが多い。土質構成、土の強度定数などが確認できる期待がある。現在、このデジタル情報化が考慮・進行中である。

類似現象に「天端のわだち」がある。程度によるが、凹んだ部分に相当する土砂が法面下部の孕み出しに現れていないか確認すると、堤防全体の安定に影響するか否かの判断につながる。

(2) 漏水への対応

漏水箇所の状況（ほんやりしたしみ出し、小穴からの漏水か、湿潤化の状態か、など）、漏水量の分布（高さ、位置など）を観察・計測する。これは堤防断面の土質構成、透

水係数などの確認となる期待がある。現時点でのガイドにも記載しているけれども、モニタリング業務に当たる者がこのような意識をもって実施できるよう訓練される体制作りの必要がある。

(3) 計測モニタリングの勧め

強化工法が実施される堤防では、その効果を確認するための計測が義務づけられる気運である。浸潤線の高さを計測する手法を土木研究所で応募型試験が遂行され始めているが、観測井断面を小さくする手法が必ずしも良くなく、土質に対応した手法が検討されて精度的に良い計測手法が確立されるよう期待したい。

(4) 強化工法 2, 3

都市周辺で裏法尻部のドレーン工法が効果的であるが、断面拡大、部分または全断面法面被覆、遮水、プランケット工法、などの強化工法がある。図2の基準により判定される。堤防中心部に矢板の壁を設定する工法は認定されていない（欧州や中国でも失敗例がある）。

4.3 河川堤防の概略的診断

実務者にとって概略、詳細の各点検を実施した後、一体何が改善されたかは設計業務の結果を分析して判明する。しかし、どの要因がどれくらい影響しているか端的に評価し難い面がある。筆者は発表した統計モデルで堤防要因による被災確率の算出を再検討しているが^{13),14),15)}、最大のネックは、災害データが堤防条件データとともに整備しがたいこと、解析に配慮すべきポイントが明確になっていないことに気づいているが、ロジットモデルの有用性を示したいと考えている。特に、越流に強い堤防の要因を探索するニーズは高いと考え、検討を進める予定である。

4.4 越流に対する展望

治水政策の推進にもかかわらず、計画高水位 HWL 以下の出水でも安全が確保できない堤防が存在するし、越流による破堤が近年顕著になっている。溜め池堤防の越流被害も見られる。国交省や研究者の間では、長らく越流破堤実験が工夫されてきた。未だ、成案にならないようであるが、ポイントは次のようなことに整理できよう。

- ① 芝工ある堤防天端の越流：40～60 cm の越流水深には、4～5 時間継続に耐えたことが円山川で推定された。
- ② 越流破壊は裏法尻部へ落下する越水侵食の拡大：
裏法尻の侵食破壊が拡大する形式が最多と推量される。
- ③ 越流に強い堤防裏法面の補強材開発の勧め
裏法尻部の排水フィルター部の有効性も検討…。
- ④ 堤防表土の改良工法の開発
異種材料を嫌う堤防であるが、土と同じ変形性能を有する改良土工法の開発が期待される。

4.5 堤防耐震化の進展

堤防の耐震性は基礎地盤の良否とくに沈下量の多少によ

り判断され、地盤の液状化強度などが支配的要因である。平成 18 年 8 月国は「海拔ゼロメートル地帯や大地震発生の恐れがある地域で、19 年度から 5 年間で耐震改修を実施する」と決めた¹⁷⁾。総延長約 9.4 千 km 中で 27% が耐震性確認され、14% は耐震改修必要とされ、残る 59% は未調査という。外水位は地震時にも「平常時の最高水位」までは堤防高さを確保する考えで、河口部では朔望平均満潮位および津波高さを考慮して照査することとしている¹⁸⁾。

5. あとがき

河川堤防に関しては設計指針等に内在する疑問点もあることを明示して技術者は留意すべき箇所がいくつかあることを指摘した。頻発する豪雨等の水文現象、河川計画的な側面は避けて、本文は地盤工学的側面から考察するとともに、点検・診断に関して整理を試みた¹⁶⁾。

参考文献

- 1) 建設省河川局治水課：河川堤防設計指針（第 3 稿），241 頁，平成 12 年 6 月。
- 2) 財団法人国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き，192 頁，平成 14 年 7 月。
- 3) 宇野尚雄：河川堤防の質的整備に関する技術検討概要，土と基礎，Vol. 52, No. 4, p. 36, 2004。
- 4) 福田光治・宇野尚雄：透水係数に関係する粒度分布と間隙指標，土木学会論文集，No. 561/III-38, pp. 193-204, 1997。
- 5) 森田悠紀雄・坪田邦治・西垣誠・小松満：粒度分布と間隙率を考慮した土の透水係数の推定方法，土と基礎，53-7, pp. 5~7, 2005。
- 6) 国交省太田川河川事務所・応用地質（株）：中調子排水管貫削土質調査報告書，41 頁，平成 16 年 3 月。
- 7) 軽部大蔵・阿部廣史・鈴木寿・畠山正則：不飽和土の三軸試験における試験方法，土質工学会「三軸試験方法に関するシンポジウム」発表論文集，II-1, pp. 125~130, 2001。
- 8) 太田秀樹・西田義親・国安逸朗・金子義信：土の締固め～管理基準と品質管理～，土と基礎，Vol. 34, No. 5, pp. 43~48, 1986。
- 9) 久保田・河野・宇野共著：透水—設計へのアプローチ—，鹿島出版会，初版（昭和 51 年）～第 3 版（昭和 54 年）。
- 10) 宇野尚雄：透水性地盤上の盛土の浸透破壊に対する安全性，土と基礎，Vol. 16, No. 2, pp. 7~9, 1968。（本文献では「洗掘破壊」が「浸透破壊」に替わって使用されている。）
- 11) 河川堤防モニタリング委員会資料（平成 16 年秋）
- 12) 河岡忍・宇野尚雄・塚田秀太郎：河川堤防の「概略点検」手法に関する検討，土木学会第 61 回年次学術講演会概要集，III-242, 2006。
- 13) 宇野尚雄・森杉寿芳・杉井俊夫・中野雄治：被災事例に基づく河川堤防の安定性評価，土木学会論文集，400, 161-170, 1988。
- 14) 宇野尚雄：堤防の被災対策と安全性評価（木曾三川を例として），全地連「技術フォーラム '97」講演集（記念講演），pp. 1-15, 1997（9 月，名古屋にて）。
- 15) 面屋兼太・杉井俊夫・宇野尚雄：ロジットモデルによる堤防被災要因の分析，土木学会第 61 回年次学術講演会概要集，III-241, 2006。
- 16) 末次忠司・川口広司・古本一司・森 啓年・石原雅規：土構造物のメンテナンス（6. 河川堤防における点検と維持管理，土と基礎，Vol. 54, No. 8, pp. 45-52, 2006。
- 17) 日本経済新聞「堤防耐震化を促進」，平成 18 年 8 月 6 日（日）。
- 18) 第 6 回河川構造物の耐震検討会（佐々木康委員長），H 18. 2. 6。

宅地造成地の斜面 —形成史，災害，メンテナンス—

かま い とし たか
釜井 俊孝

1. はじめに

多くの分野において、防災とメンテナンスは密接な関係にあることは言うまでもない。しかし、宅地地盤（特に盛土斜面）に関しては、盛土は長期的には安定な方向に向かうという土質力学上の信仰にも似た常識から、災害の可能性およびメンテナンスの必要性について、積極的に議論されることはなかった。しかし、宅地斜面を基礎地盤、盛土、排水設備、擁壁等で構成された全体的な系として考えた場合、宅地地盤の劣化やもとの強度不足から、災害のリスクが存在し、長期的なメンテナンス（維持管理）が必要となることは、容易に理解できるはずである。

もちろん、宅地地盤が完全無欠であり、その状態が継続するのであれば、問題は生じない。しかし、例え造成当初は完璧であっても、その状態は永久には続かない。すなわち、数十年規模の長い時間のスパンで見れば、老朽化による災害のリスクは次第に増大するのであり、防災はメンテナンスの問題でもあると言える。しかし、宅地地盤はさまざまな経緯で形成され、災害の形態もさまざまであるため、この関係の全体像を把握することは容易ではない。そこでここでは、いくつかの代表的な災害について、宅地地盤の形成史と災害の関係を調べることで、防災における広義のメンテナンスの重要性について指摘することにした。

2. 都市の発達と宅地地盤

古くから人は都市を建設して住んできた。都市の起源と発展の歴史はさまざまであるが、宅地地盤の面からは海辺における港町の形成と台地・丘陵地を舞台にした近代都市の拡大の二つが注目される。

2.1 港町

水辺（海辺、川辺）に自然発生的に発達した海民の集落（浦：ウラ）を歩いてみると、そこでは軒を連ねた住宅が高密度に集積し、神社等が広場の役割を持つように配置され

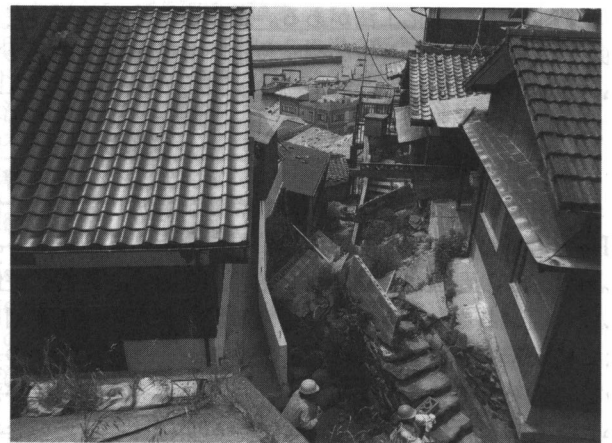


写真1 2005年福岡県西方沖地震による玄界島の宅地地盤の被害状況

るなど、一種の都市的空間が認められる。わが国では、こうした場所が津や泊（港湾機能）、市の機能を持つようになり、商工民が定住する港町に発展したと考えられている¹⁾。西日本の海岸線には、こうした中世以来の伝統を持つ港町や集落（ウラ）を点々と分布する。こうした場所では、共通した景観として、海岸から急な山腹の斜面に盛土、石垣、階段で構成された人工宅地地盤が累積している状況を見ることができる。2001年芸予地震による呉市中心部の災害や2005年福岡県西方沖地震による玄界島の災害（写真1）は、こうした急傾斜の宅地地盤の被害に他ならない。

2.2 郊外

第二次大戦後、大量の宅地が都市の郊外に作られるようになった。特にわが国では、経済成長の担い手を確保するため、大都市への人口集中が政策的に誘導され、戦後一貫して量を重視した宅地の供給が行われてきた。具体的には、多くのニュータウンが建設され、その結果、宅地は低地から台地、丘陵地にまたがって分布するようになった。こうした造成地は、多くの人工地盤を含みつつ、外縁部で自然斜面に接している。ニュータウンでは、これらが豪雨や地震がトリガーとなって崩壊し、しばしば災害を引き起こしてきた。すなわち、多くの近代都市では、郊外の膨張につれて都市の外側に向かう、災害のベクトルを見ることができる²⁾。

* 京都大学防災研究所助教授

2.3 膨張と成熟

一方、都市は郊外に向かって“膨張”すると同時に、内部でも“成熟”する。人工地形改変に伴う宅地地盤のリスクは、外側に拡大すると同時に、内部でもより深められていった。すなわち、中心部の古いマチにおいても、施設の老朽化や無謀な高密度利用(例えば石垣や擁壁のつぎはぎ)が継続されている。図1は、こうした状況をもとに、都市の斜面災害を都市の外縁部(膨張する前線)における斜面災害と、都市の内部(成熟したかつての外縁部, 中心地域)における災害に分類を模式的に示している³⁾。

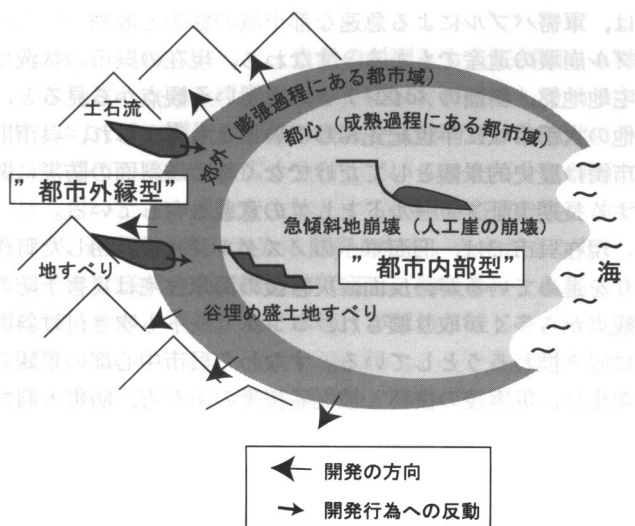


図1 都市の発達と斜面災害の関係

以下では、ケーススタディーとして、(1)近代的な郊外の開発と中心部のインナーシティ化に起因する災害が同時発生した呉市、(2)谷埋め盛土地盤の災害が顕在化した兵庫県南部地震の際の阪神間・神戸地域、(3)「崖つぶち」の災害が発生している東京・横浜中心部および長岡の3地域における都市の発達と宅地地盤災害との関係について述べる。

3. 港湾都市「呉」における宅地地盤と災害

呉市は、明治の半ばから軍港として栄えた街である。旧呉市域は1889年に海軍鎮守府が置かれるまで、周辺4村の人口が合計1万人強の寒村であったが、海軍工廠の規模拡大に伴い、1902年市制施行時に人口は6万人に達した。その後、日露戦争、第一次世界大戦を経て1920年代にはほぼ15万、1943年には41万人と呉市の人口は急速に膨張した⁴⁾。平野部は海軍等の公共施設で占められたため、住宅地は周辺の急峻な山麓斜面を開発して造成された。この時期の住宅地の地盤は小規模な切土・盛土の複雑な集合体であり、斜面全体が石垣と狭小な道路・石段で覆われる港町特有の景観を呈している。すなわち、呉市中心部は、浦(ウラ)の伝統を引き継いだ都市として発展したと言える。

3.1 傾斜地住宅の伝統と災害

周辺の山地斜面に崩壊準備物質のマサが発達すること

山麓斜面の集約的利用の結果、呉市では過去に多くの斜面災害が発生している。特に、1945年の枕崎台風では多くの崩壊が山地斜面で発生し、土石流によって死者1154名、重傷者440名の災害となった。被害は主に休山西麓が市街地と接する境界地域で発生した。また、1967年7月には集中豪雨によって呉市だけで2115カ所の斜面崩壊が主として広島花崗岩類の斜面で発生し、死者88名、負傷者102名の災害となった。この時の斜面崩壊発生地点は多くが標高100m以下の山麓であり、全崩壊数に対する人工地形改変斜面の割合は約56%を占めた。すなわち、呉市における過去の斜面災害では、都市域の拡大に伴う人工地形改変が支配的要因であったと言える。

呉市街地西部の両城から山手にかけての地域は、主として昭和初期までに主として民間によって造成された古い住宅地であり、海軍住宅として知られている。ここでは地形的制約を克服するために稜線まで石垣が築かれ、人工的に宅地地盤が形成されている。こうした海軍住宅は戦後GHQに接收され、その後も大企業職員の社宅等として利用されるなど、戦後まで呉市における住宅のモデルの地位を保っていた。しかし、高度成長期以降の生活様式の変化によって、これらの地形的制約の多い古めかしい住宅地は、時代から取り残されることになる。結局、呉市街は大きく広がったが、その際にこれらの住宅がモデルになることはなかった。その後、新たな価値が見出されなくなった住宅地では思い切ったメンテナンスが行われなくなり、急速に老朽化していき、2001年の芸予地震で大きな被害を受けることになった。

また、その後の2002年8月11日には、住宅の背後の石垣が崩壊し、一名の方が亡くなった。直接の誘因は、崩壊の直前で時間雨量34mmを記録した豪雨であるが、この斜面は前年(2001年)の3月に発生した芸予地震による被災斜面の一部であり、崩壊は地震後の二次災害である可能性が指摘されている。崩壊した部分には古い道路の路盤が埋没しており、路盤直下の盛土には大量の地下水が供給されたことを示すパイプ痕が点在していた。これより、古い道路の路盤によって盛土内部を上昇した地下水が規制され、被圧された地下水の前面への突出によって石垣が急速に破壊され、災害となった可能性が指摘されている(図2)。

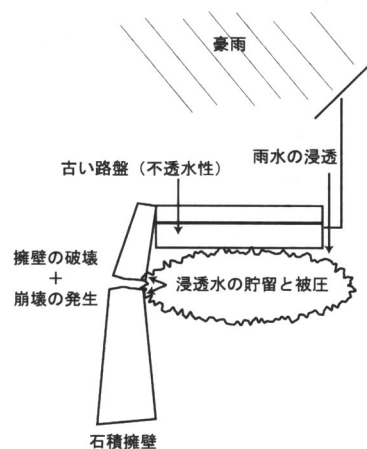


図2 芸予地震後に発生した豪雨による崩壊(呉市三津田)

3.2 丘陵のミニ開発と地すべり

呉市では、公的組織（公団や企業局等）が行う大規模なニュータウン建設の他に、民間ディベロッパーによる小規模な宅地開発が、活発に行われた。呉市西谷町パラミック地区は、そうしたミニ開発地の一つである。

この宅地造成地では、1995年の入居開始時から住宅の内部や周囲の地表部にクラックや沈下、建物の傾斜が発生し、造成地末端の擁壁にも変形が認められた。住宅の変状や擁壁の変形は2001年の芸予地震後、ますます顕在化し、被害は住宅11戸を含む広い範囲に広がった。したがって、地震の影響は否定できないが、以下に述べるような地すべりと人工地形改変の関係を見ると、芸予地震はきっかけに過ぎず、地盤の変形は遅かれ早かれ開始されたに違いない。

造成以前の空中写真や地形図から、パラミック地区造成以前には二つの浅い谷が存在したことがわかる。これらの谷は、基盤の呉花崗岩を覆って尾根上に分布する古期崖錐の崩壊跡と考えられる。湧水点は、古期崖錐と花崗岩の境界付近に分布している。これらの谷の内部には、やや厚い斜面二次堆積物が堆積しており、地震以前から、それぞれ独立した小規模な地すべりとして緩慢な活動をしていたと推定される。

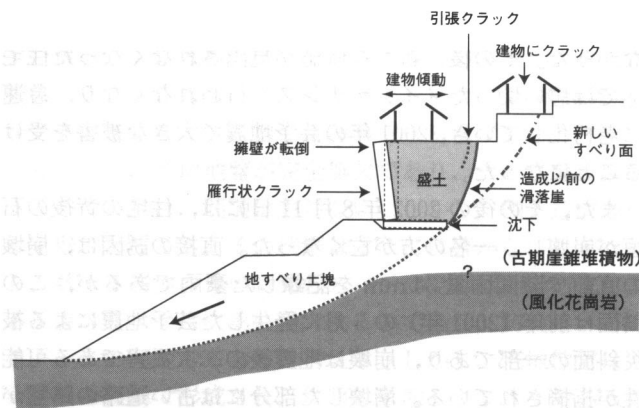


図3 宅地造成に伴う頭部載荷によって引き起こされた地すべり（呉市西谷）

この造成地では、平坦地の面積を稼ぐため、谷の上部を横断するように擁壁を建設し、背後に谷埋め盛土を構築した。すなわち、この宅地造成は、地すべりに対する著しい頭部載荷（擁壁＋谷埋め盛土）を行ったことになる。このため、地すべりの安全率が減少し、斜面二次堆積物（地すべり堆積物）上に直接基礎で載っていた擁壁の変形および住宅の被害が生じた（図3）。

3.3 メンテナンスの問題

戦後の災害で被害が集中した地域は、呉市が軍港であった頃からの古い住宅地とほぼ重なっている。これらの地域は、軍需バブルによる急速な都市域の膨張と敗戦というバブル崩壊の遺産でもある。すなわち、現在の呉市の状況は宅地地盤、斜面のメンテナンスという観点から見ると、他の大都市域に半世紀先んじているとも考えられ、呉市旧市街は歴史的景観としてだけでなく都市域斜面の防災に関する長期実証フィールドとしての意義も有している。

現在呉市では、旧海軍へのノスタルジーを利用した町作りを進めているが、反面、災害後の海軍住宅は災害予防の観点から多くが取り壊され、コンクリートも吹き付け斜面に置き換わろうとしている。すなわち呉市中心部の景観の変化は、災害後の復興と被災者援護のあり方、防災と斜面景観保持の関係等においてさまざまな問題点を提起している。

4. 兵庫県南部地震による谷埋め盛土の災害

谷埋め盛土の地すべりは、1978年宮城県沖地震をきっかけに広く知られるようになった⁶⁾。1995年兵庫県南部地震では、平野部の激しい被害の前に震んでしまった感もあるが、台地・丘陵地の住宅地では谷埋め盛土に関連した災害が多く発生した（図4）。そのうち、仁川と宝塚ゴルフ場の2カ所では崩壊土砂が流動化し、仁川では死傷者が出た。しかし、多くの谷埋め盛土では、盛土の一部が変動したのみで全般的な流動には発展しなかった。拘束条件や人工構造物、地下水位等の条件が流動化に満たなかったためと考えられる。個々の地点の被害は比較的軽微であったが、地域全体では相当な数の住宅とライフラインが破壊されたため、地震後の生活復興に重大な支障が生じた⁸⁾。

実際、変動した谷埋め盛土を抱える住宅地では、地震後、数年を経ても、空き地が目立つ。谷埋め盛土の変動の多くは、人命に直接的被害を及ぼすほどではないけれども、個人レベルでは多くの住民の人生に少なからぬ影響を与えたに違いない。

谷埋め盛土地すべりは、西宮市から神戸市にかけての地域に最も濃い密度で発生した。この地域はわが国では最も早い時期に開発された郊外で、第二次世界大戦以前からモダニズム文化が開花した場所でもある。例えば、西宮市木津山町一帯は昭和3年頃開発された

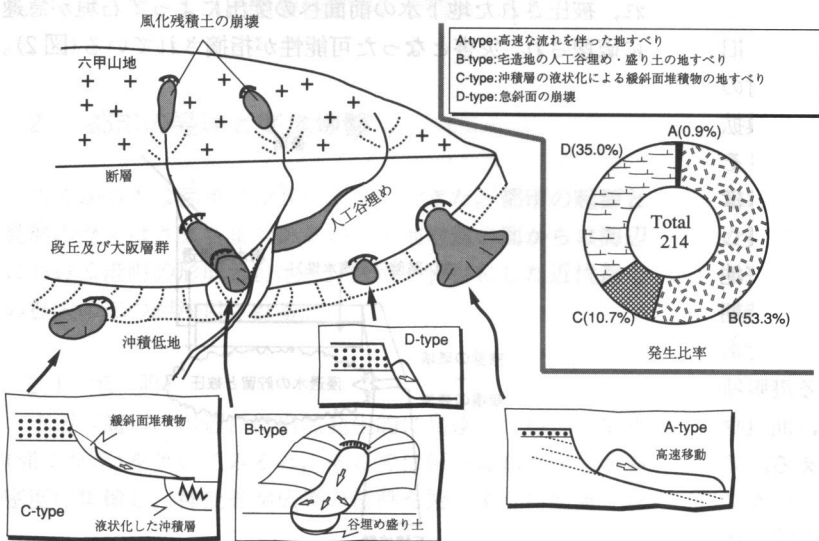


図4 兵庫県南部地震による都市域の斜面災害の類型

が、その際、開発業者の大神中央土地(株)が配布した“広告ちらし”が現存している⁹⁾。これと現在の宅地の範囲、および1995年兵庫県南部地震による被災状況を比較すると、当初の開発範囲と現在の状況の違いが理解できる。すなわち、開発の初期段階では、沖積低地に続く谷の内部(谷床)は宅地に転用されることはなかった。しかし、この地域がいわゆる高級住宅地になるとともに、上記のような悪条件の場所にも住宅(谷埋め盛土)が進入し、結局最後には、そうした場所が選択的に被災した。

5. 東京・横浜・長岡の「崖っぶち」

都市の住宅地において、自然の斜面とも人工斜面とも確かには判定しかねる“崖っぶち”(図5)が成立している。“崖っぶち”は、開発の記録も曖昧な比較的古い住宅地に多く、大都市の都心部に広く分布している。大部分は斜面にへばり付いた古い盛土を主体とする小規模宅地の集合体であるが、過去数十年にわたる開発の結果、さまざまな年代、さまざまな様式の人工構造物(盛土、擁壁等)と斜面の自然地盤(地形、地質、地下水等)が渾然と雑じり合っ存在している。

2004年4月2日、東京の西品川において、小規模な斜面崩壊が発生した(写真2)。直接の原因は建設工事の僅かな震動であったので特殊な問題として処理されたが、周辺地域には同様な危険な斜面が存在し、やや強い震動があれば広範囲に崩壊が発生する可能性がある。この地域は、目黒川河岸の斜面に当たるが、斜面保護施設が老朽化し、限界状態(バランス状態)にある斜面の上に住宅が密集する典

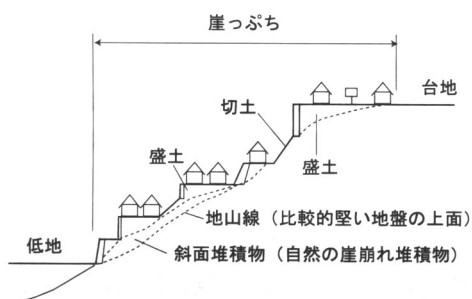


図5 都心における“崖っぶち”の概念

型的な“崖っぶち”が形成されている。この崖っぶちには、台地の主要帯水層である武蔵野礫層が斜面に露出しているため、斜面下部の堆積物や盛土の中には地下水が豊富に含まれている。また、目黒川では他の関東平野を流れる中小河川と同様、後水期におけるソリフラクションの影響で両岸の斜面の傾斜が著しく異なるため、両岸で異なるタイプの“崖っぶち”が成立している。すなわち、“崖っぶち”の災害は、人工地形改変と自然条件の両方の側面を持った典型的な都市型斜面災害であると言える。

上記のように、急斜面上に盛土が張り付いている状況は、都市の内部では比較的頻繁に見られる。平坦な部分を少しでも拡大するためである。過去の災害では、こうした部分の被害が顕著であった。例えば、2004年新潟県中越地震における、長岡市郊外の高町団地の災害は、その典型例である¹⁰⁾。ここでは、孤立した丘陵を台地状に造成する際、周縁部を盛土によって拡張し、外周道路や宅地に利用していた。その結果、この周縁の盛土部分で顕著な被害が発生した(図6)。一般に、こうした斜面の肩では平坦部に比べてより大きな地震力が作用するため、斜面に張り出す片(肩)盛土は危険であると言える。ただし、この場合も崩壊にまで至ったのは、ほとんどが谷頭部の盛土であり、谷埋め盛土の極端な例とも言える部分であった。

1999年2月横浜市南区中村町で発生した崖崩れは、切土斜面の崩壊の典型例である。高さ30mコンクリート吹きつけ斜面が崩壊しマンションが1棟被災した。直接の誘因は不明である。この崖は、もともと本牧台地の海食崖であ



図6 新潟県中越地震による長岡市高町団地の被害



写真2 西品川の“崖っぶち”で発生した小規模な崩壊

ったが、切り土によって自然斜面の勾配に比べてより急崖化されていた。崖の中腹に分布する上総層群の泥質岩が2方向の節理によって楔状に分離し上部の下末吉層・ロームを載せたまま落下したもので、1987年千葉県東方沖地震の際、上総丘陵において多数発生した崩壊と同様なパターンである。

一方、こうした崖つぶちの災害は、1997年兵庫県南部地震ではあまり顕著ではなかった。これは、阪神間の“崖つぶち”の多くに急傾斜地対策事業による立派な斜面保護施設が建設されていたためであると考えられる。すなわち、こうした災害に対しては、「崖」のメンテナンスが重要である。

6. 災害とメンテナンス

6.1 地下水処理

盛土内部への地下水の浸入は、盛土自身が不安定化するリスクを増大させる。このことは、半ば常識であるので、通常は盛土の底面に沿って配水管(暗渠)が設置される。したがって、計算どおりに事が推移すれば、盛土の内部に地下水は侵入しないはずである。しかし、実際には多くの場合、盛土内部に地下水位が存在する。被圧地下水が底面付近にあるだけで、実際の地下水はそれほど内部にまで侵入していないケース(=盛土の締固めが良好)もあるが、多くの盛土では、内部に自由地下水面が形成されている。

このことは、計算どおりの地下水処理が難しいことを意味しているが、それには二つの理由が考えられる。

- (1) 設計の前提とした流入量以上の地下水が存在する
- (2) 配水管の老朽化、目詰まりによる機能低下

単純に地下水の広域流動系を考えると、盛土以前には、谷に見られる湧水点で水位ポテンシャルがバランスしている。しかし、谷埋め盛土によってそのバランスは失われるので、地下水位は広域流動系に従って回復(盛土の中を上

昇)すると考えられる。したがって、通常行われているような流域の雨水浸透だけを考慮した設計では、配水管の処理能力は不足する場合が認められる。また、復帰した広域流動系に十分な水量があると、配水が良好な谷埋め盛土ほど地下水を集めるようになる。すなわち、谷埋め盛土が、地下水のミズミチ化する可能性も考えられる。

一方、谷埋め盛土内部の配水管の管理(メンテナンス)にも問題が発生する場合がある。すなわち、造成地の下水管と上記の排水管が別系統である場合、後者の管理責任は曖昧になりやすい。配水管は継続したメンテナンスがなされないと、やがて老朽化や目詰まりによって機能が失われる。1950年代以前の谷埋め盛土では、こうした状態にあるものが、かなり存在すると推定される。谷埋め盛土の被害を軽減するためには、排水施設を適切にメンテナンスする方式を確立する必要がある。

6.2 都市地盤調査法

地盤のメンテナンスを行うには、地盤の情報が不可欠である。しかし、都市の宅地地盤の調査を行うには、二つの点を克服しなければならない。まず、地表の大部分が住宅や舗装道路であり、露出部分が極端に少ないこと、次いで、振動や電波などノイズが大きいことである。これらの点を考慮して、地盤の調査法として、スウェーデン式貫入試験、簡易貫入試験、調査ボーリング等の“点”での調査が多用されている。しかし、広域の調査にはこれらの手法は適さないため、都市の地盤に適した物理探査法が必要とされていた。この点で、最近開発された、高精度表面波探査とEM電極を利用した比抵抗探査法は有効な手法として注目される(図7, 8)。

6.3 ハザードマップ

メンテナンスが必要な宅地地盤はどのように判断すればいいのだろうか? 恐らく、ここはリスクマネジメント

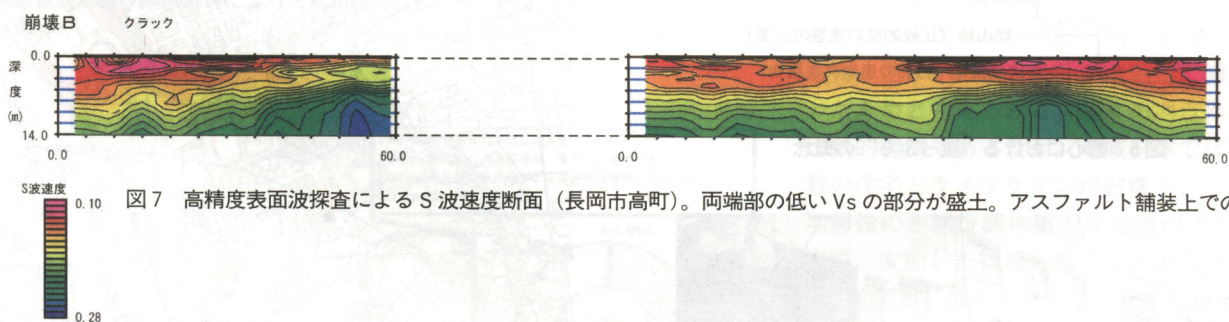


図7 高精度表面波探査によるS波速度断面(長岡市高町)。両端部の低いVsの部分盛土。アスファルト舗装上での測定。

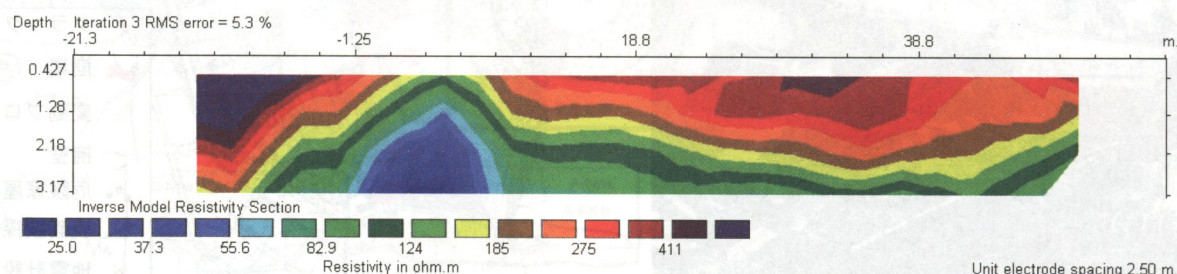


図8 EM型アンテナを使用した比抵抗探査(OhmMapper)の結果(長岡市前山町)。断面中央右の高比抵抗部が盛土。アスファルト舗装上での測定。

の出番である。しかし、宅地地盤のフラジリティカーブは未完成なので、この分野で本格的なリスクマネジメントを行うのは難しい。特に、広域に分布する多数の地点のリスクを同時に判定してハザードマップ化する場合、現実の作業は経験的予測に頼ることになる。実際に、災害は造成地盤でしか発生しないので、造成地盤の分布を示すだけでも一応の予測であるとは言える。しかし、メンテナンスを行う順番を決める上で参考になるのは、危険な地盤（例えば盛土）の範囲、およびそれぞれの地盤（盛土）の危険性についての判断が表現された地図であるべきである。その際に必要となる判定手法として、谷埋め盛土に関しては簡便なものがすでに用意されている。これは、谷埋め盛土の外形的特徴（幅深さ比等）が被害・無被害の判別の有効であるという特徴を利用している。解析方法は、単純な判別分析（線形モデル）やニューラルネットワーク（非線形モデル）である¹¹⁾。教師データは、宮城県沖地震、兵庫県南部地震、釧路沖地震であるが、教師データに含まれない2003年の三陸南部地震や2003年宮城県北部地震に対しておおむね良好な中率が得られており、ほぼ実用レベルに達している¹²⁾。

一方、“崖っぶち”の対策を議論するためには、まず“崖っぶち”の実態（地盤の種類と分布、現地形と旧地形、地下水、擁壁の構造、住宅の基礎形式等）に関する具体的調査結果と、それらを基に個々の斜面の実態と安定性を評価した地図「崖っぶちマップ」が必要である。

6.4 行政による対応

ソフト的な災害対策として、行政の対応も重要である。ルールに問題があったとしたら、ルールを変えることは最も根本的な対策となり得るからである。平成18年には、谷埋め盛土地すべり災害の軽減を目的とした規制と対策の導入を柱とした「宅地造成等規制法」の改正が行われ、同時に、宅地盛土の耐震化推進事業の創設と耐震化を対象とした減税措置も導入された。こうした一連の行政措置は、街区も公共財であると考えることにより、相隣関係では解決できない谷埋め盛土地すべりの減災対策に積極的に乗り出そうとするものである。これは、過去、宅地盛土の問題を民対民の問題として介入を避けてきた行政の姿勢に比べて大きな方向転換であり、都市政策における重要なメルクマールとして後世に評価される施策であると思われる。

7. おわりに

わが国の大都市では、今後周辺部への膨張速度が弱まり、都市域の再生、再利用が加速されると考えられる。その場合、宅地地盤のメンテナンスにおいて特に重要な点は、基礎・壁体の再利用・一部利用と斜面防護施設の老朽化（特に盛土内部の地表水・地下水排水施設の老朽化・能力低下）

であると考えられる。取るべき対策は限られるが、例えば老朽化を視野に入れた排水施設計画が望まれる。

総合的な防災計画においてハザードマップの必要性はしばしば指摘されている。都市の斜面災害について公表されたものは少ないが、地震による谷埋め盛土の地すべりに関しては一部の地域を対象に作成されている。今後はできるだけ対象地域を広げるとともに、他の種類の斜面災害（急傾斜地や豪雨を誘因とする災害）についてもハザードマップを整備する必要がある。

地質、地盤に関する情報は面的情報として都市計画・再生計画に不可欠であり、その品質の良し悪しは財政的なリスクに直結する。今後は都市域における高精度の地質・地盤情報の対象を人工構造物にまで拡大して整備することが、斜面を含めた今後の都市再開発・再利用において特に重要である。

阪神・淡路大震災以降、災害復旧における公（おおよけ）の範囲を再定義する動きも見られるようになった。すなわち、私有財産であることを理由に、一貫して拒否されてきた宅地に対する公的復興資金投入の是非に関する議論である。これは結局、都市構成要素としての宅地の公的側面を再認識することに繋がるものである。もしかするとわれわれは、史上初めて安全な宅地が社会的に強く求められる時代に辿りついたのかも知れない。宅地の安全を公共の側面から考える場合、必要になるのはまず地盤・地質の正確な情報である。

参考文献

- 1) 網野善彦：水辺のにぎわい、海民と遍歴する人びと 週刊朝日百科「日本の歴史」, pp. 193-196, 2002.
- 2) 田村俊和：都市域の斜面災害はどのように変わってきましたか、知っておきたい斜面のはなし Q & A, pp. 176-177, 2005.
- 3) 釜井俊孝・守隨治雄：斜面防災都市, 理工図書, 200 p, 2002.
- 4) 呉市史編さん委員会：呉市史 第四巻, 呉市役所, 678 p, 1976
- 5) 釜井俊孝・守隨治雄：2001年芸予地震による呉市都市域の斜面災害, 地すべり学会誌, Vol. 40, No. 5(157), pp. 78-83, 2004.
- 6) 井口 隆：谷埋め盛土における地震時地すべりの例と若干の考察, 兵庫県南部地震等に伴う地すべり・斜面崩壊研究委員会報告書, 地すべり学会, pp. 101-117, 1995.
- 7) 浅田秋江：宅地造成地盤の地震時危険の予測法と防止工法に関する研究, 土質工学会論文報告集, 22-4, pp. 191-202, 1982.
- 8) Kamai, T., Kobayashi, Y., Jinbo, C. & Shuzui, H.: Earthquake risk assessments of fill-slope instability in urban residential areas in Japan, Landslides (Proc. 8th Int. Symp. Landslide), pp. 801-806, Thomas Telford., 2000.
- 9) 阪神間モダニズム展実行委員会：阪神間モダニズム, 244 p, 1997.
- 10) 釜井俊孝：2004年新潟県中越地震による都市域の斜面災害, 応用地質, 46-3, pp. 138-144, 2005.
- 11) 釜井俊孝・守隨治雄・笠原亮一・小林慶之：地震時における大規模宅地盛土斜面の不安定化予測, 地すべり学会誌, Vol. 40, No. 5 (157), pp. 29-39, 2004.
- 12) 釜井俊孝・守隨治雄：都市造成地盤のハザードマップ, 測量, Vol. 57, No. 6, pp. 38-42, 2004.

車窓から見る地形・地質

首里城

沖縄県 那覇市

沖縄都市モノレール（株）（愛称：ゆいレール）

沖縄の空の玄関である那覇空港。この那覇空港に隣接して、平成15年8月に開業した那覇都市モノレール（通称、ゆいレール）の那覇空港駅がある。

沖縄都市モノレールの愛称である“ゆいレール”は、沖縄の方言『助け合いの精神：ゆいまーる』にならい、地域をそして人と人とを路線で結ぶ沖縄唯一のモノレールを、県民みんなで支えようという願いから決まったとのこと。ゆいレールの形式は、長さ14.7m、幅2.98m、高さ5.10m、定員165人の跨座型モノレール車両で、2両固定編成となっている。車両デザインは、沖縄を象徴する首里城の伝統的な本朱塗りを基とした赤いラインを車両中心に配したシンプルな外観になっている（写真1）。

ゆいレールは「那覇空港駅」を始発とし、那覇市街を通り那覇市首里汀良町の終点「首里駅」までの15区間12.9

kmを27分で運行している（図1）。沖縄にとって戦後初の鉄道交通機関として、県民はもとより観光や出張で沖縄に来られる人々の新たな公共交通機関として期待されている。

それでは、このゆいレールに乗車し2000年に世界遺産に登録された城（グスク）群の一つ、首里城跡に向かうことにしよう。

始発駅である那覇空港駅は日本最西端駅で、標高5m以下の海岸低地にあり、駅を発車後しばらくは空港滑走路側に、サンゴ礁のリーフに砕ける白い波とコバルトブルーの海が眺望できる。赤嶺駅、小禄駅と進み、奥武山公園駅辺りでは目の前に漫湖（干潟）が広がってくる。この干潟は、国場川と饒波川の合流域に形成された潮間泥地で、1999年にラムサール条約に登録された野鳥の憩いの場である。

漫湖を横断するように那覇大橋に沿って那覇市街中心へと入る。県庁前駅、牧志駅と進み、安里駅を通過した辺りから上り坂になり、那覇新都心街のおもろまち駅に入る。このおもろまち駅周辺は、近年大規模ショッピングセンターやアミューズメントなどの施設が多く建設され、目覚ましい発展を続けている街である。

古島駅を通過し大きく右に曲がり、私立病院前駅辺りまで来ると進行方向右手に首里の台地に建つ赤瓦の首里城が見えてくる。儀保駅に着くと、駅構内からは城壁で囲まれた朱色の正殿、北殿が青空に映えてくっきりと見ることができる（写真2）。やがて、車窓右手に首里城を眺めながら終点「首里駅」に到着する（写真3）。首里駅は標高約125mの高さにあり、モノレール駅中で最も標高の高い駅である。

首里は、首里城とともに14世紀より明治の琉球王府時代の終わりまで王都として栄えた都市であり、自然と人文、歴史とが一体となって古都の趣を醸し出している。ここには首里城跡のほか玉陵（タマウドン）、園比屋武御嶽（ソノヒヤンウタキ）石門の世界登録遺産ほか、円覚寺跡、国学孔子廟跡、龍潭（リュウタン）池、弁財天堂などの文化財がある。

ところで、首里になぜ琉球王府が建造されたかは歴史的な問題であるが、立地として地形がこれに深く関与していたことは明らかである。史書によると、18世紀に沖縄文化



写真1 沖縄都市モノレール（ゆいレール）1000型



図1 沖縄都市モノレール（ゆいレール）路線図

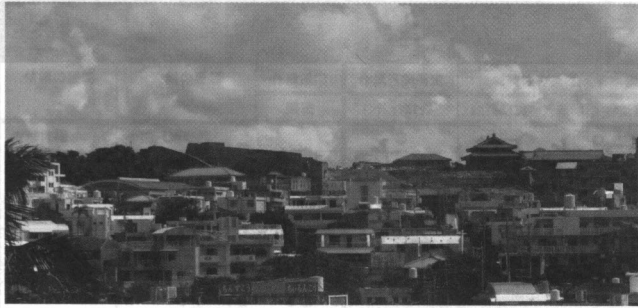


写真2 儀保駅より首里城を望む

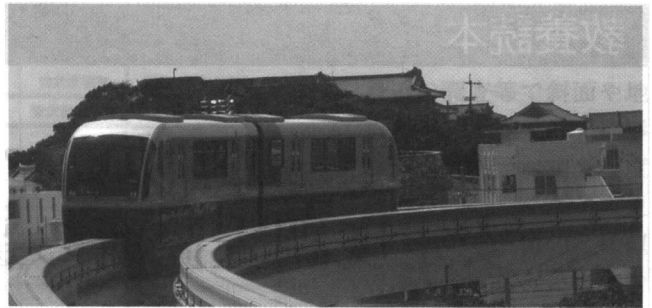


写真3 首里城を眺めながら首里駅へ

の黄金時代を築いた政治家・学者である蔡温（サイオン）などの風水師たちが、城の風水を相したという。これは首里の地形・風景を読み、この立地が中国の風水術に照らして最も優れた土地であると判断したものと推察される。すなわち、城の周囲には透水性のよい琉球石灰岩が分布し、湧水に恵まれたことが王都・首里の成立につながったと考えられる。

首里の台地を含めた那覇市一帯の地質は、基盤を成す島尻層群とそれを被覆する隆起サンゴ礁による琉球石灰岩によって構成されている（図2）。首里台地は標高100～170mを有し、北北西-南南東に走る沖縄本島の尾根を成している。南側にある識名台地との境界は西へ流れる安里川によって切られており、さらに識名台地の南側の端では国場川によって切られている。このほかにも、那覇市東部の台地に源を発するいくつかの河川が那覇市街地を横断し東シナ海へ注いでいる。これらの谷は、地質や地質構造と密接な関係をもっており、第四紀更新世に活動したいくつかの断層によって弱線が形成され、この弱線に沿って侵食谷が発達し現在の諸河川になったものと推定されている。台地の周辺部は琉球石灰岩の急崖がとりまき、それについて第三紀島尻層群の泥岩からなる斜面が連続している。

島尻層群は、第三紀中新世から第四紀初頭にかけて中・南琉球弧の海底に堆積した泥岩および砂岩で、沖縄本島中・南部のほか、宮古島や波照間島などに広く分布している。この地層は、全般に固結度が高く、標準貫入試験N値も一般に50以上を示すことから、那覇市内の重要・重量構造物のほとんどがこの層に支持層を求めている。層厚は数百m～数千mと目されており、那覇市内の天然ガス調査井では、深さ約860mで先第三系の黒色千枚岩（国頭層群名護層）に到達している。

琉球石灰岩は、サンゴ、二枚貝、巻貝、有孔虫、ウニといった石灰殻を有する生物遺骸およびその碎屑物が造った岩石といえるもので、島尻層群よりも一時代新しい浅海性の堆積物である。第四紀中葉（数十万年前）に琉球列島一帯に出現した“琉球サンゴ海”と呼ばれる温暖で穏やかな

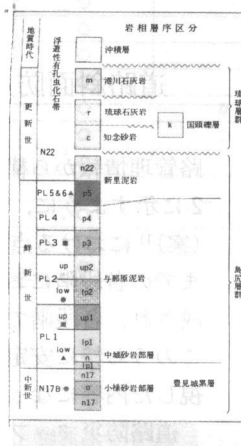
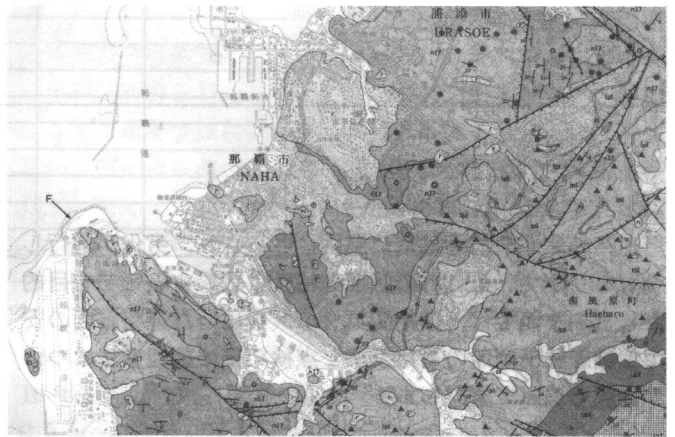


図2 沖縄本島中・南部の地質図（昭和63年、氏家宏氏）



浅海域に堆積したサンゴ礁やその破碎堆積物が、その後の地殻変動により押し上げられ現在の地形面を形成するに至った新期の石灰岩である。数十万年前というと、対岸の大陸側では北京原人の時代であり、中国大陸に北京原人の生活があった頃、那覇一帯には琉球サンゴ海の浅い海が広がっていたのであろう。

層厚は一般に数十m程度で、基盤の凸凹を埋積して広く浅く分布する特徴がある。この琉球石灰岩は世界的にもあまり例をみない新期の石灰岩で、現在も岩石化が進行中である。表面は再結晶作用により硬く固結しているが、地下の深い部分や海底下では土砂のまま残っている。そのため、石灰岩といってもルーズな砂礫状を呈するものから、完全に固結した岩盤状のものまで様々な岩相が出現し、工学上の取扱いが難しい地層である。

さて、首里駅から首里城まではゆっくり歩いて10分程度、首里城では琉球の歴史と文化に存分に触れることができる。

参考文献

- ・那覇市教育委員会：那覇市歴史地図-文化遺産黎皆調査報告書－（昭和61年3月）
- ・目崎重和：南島の地形－沖縄の風景を読み－（1988）
- ・木崎甲子郎：琉球弧の地質誌（1985）

協力

- ・沖縄都市モノレール(株)

（合資会社新藤土質調査 調査業務課 新藤和昌）

道路防災マップを用いた 安定度調査箇所を選定と点検結果の整理

くら はし とし ゆき
倉 橋 稔 幸*
さ き やすひと
佐 々 木 靖人**
や じ ま よし のり
矢 島 良 紀***

道路斜面防災 GIS 研究グループ****

1. はじめに

道路の法面や斜面は常に風雨にさらされ、劣化が進行しつつあります。それらの状況を精確に記録することを目的として、本稿では、道路防災マップを用いた道路斜面の安定度調査候補箇所の選定手法と点検結果の整理方法について手順を追って解説します。

2. 道路防災マップ

道路防災マップは、豪雨等の異常気象時における道路の弱点と、その対応を明示した防災情報地図です(図1)。道路防災マップに表示される情報は、道路防災点検結果の他、防災カルテ等の日常・定期点検結果、被災履歴、および道

路管理情報から構成されています。道路防災マップは、図2に示すように、道路防災総点検〔豪雨・豪雪等〕改訂版(案)¹⁾における点検対象区間の選定から安定度調査に至るまでの各段階における成果を入力し重ね合わせることで作成され、各段階での仕様を満足する内容を備えています。このうち特に安定度調査箇所選定等のスクリーニングを重視した内容になっています。

道路防災マップを作成し整備することで、以下の効果が見込まれます。

- ① 道路の弱点を一目で把握することができる。
- ② 道路斜面を面的に網羅することができ、想定外の災害を最小限に防ぐ。
- ③ 要注意箇所を地図上で示し、効率的に点検や対策を実施できる。

- ④ 災害管理に必要な情報を付加することで、災害時に迅速に対応できる。
- ⑤ 事前通行規制区間の解除・緩和に説得力のある基礎資料として役立つ。
- ⑥ 重要な情報の見逃しによる管理瑕疵を防ぐ。

以上から、道路防災マップの用途として、日常の道路管理に利用することができます。さらに雨量や通行規制等の道路管理に関する情報を重ね合わせることで、単なる点検の結果整理や要注意箇所を示す地図ではなく、道路の通行規制の緩和や解除の基礎資料としても利用できます。

以下、本稿では、道路防災マップの作成手順について、「作成区間の選定」、「地域特性の把握」、「机

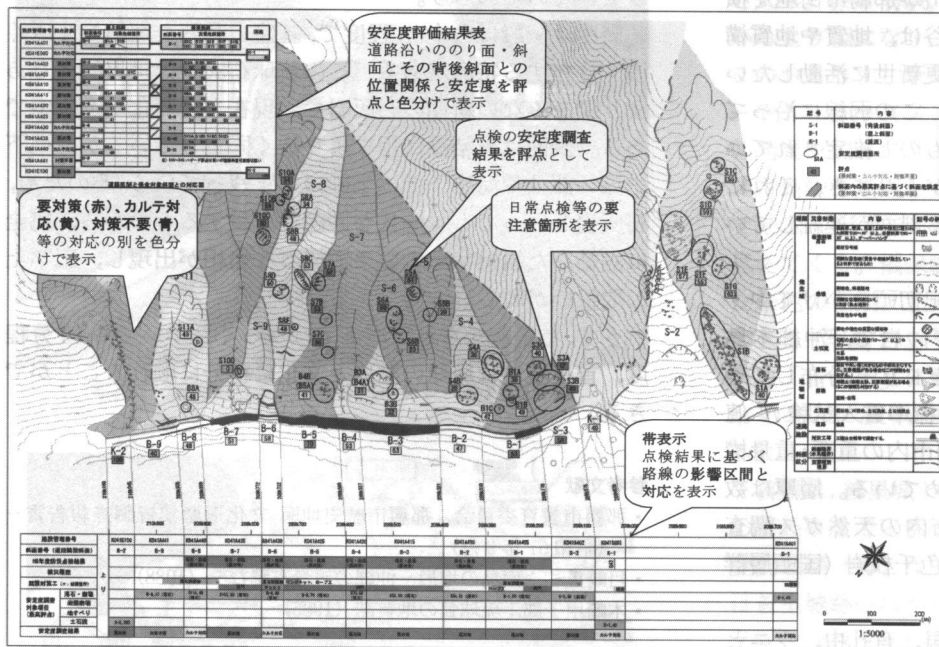


図1 道路防災マップの作成事例

* 独立行政法人土木研究所 材料地盤研究グループ地質チーム 主任研究員 ** 同 上席研究員 *** 同 研究員

**** アジア航測(株)、応用地質(株)、基礎地盤コンサルタンツ(株)、国際航業(株)、住鉱コンサルタント(株)、(独)土木研究所、日本工営(株)(お問い合わせ)

表1 道路防災マップの作成段階と必要な資料

情報の種類	資料の種類	作成段階	作成区間選定	地域特性の把握	災害地形判読	安定度調査	道路への影響評価
		図表	インデックスマップ	道路防災マップ基図	災害地形判読図	安定度調査表	道路防災マップ
地形情報	小縮尺地形図		◎	◎			
	大縮尺地形図			○		◎	
	航空レーザ計測による数値地図		○	◎			
地質情報	地質図					○	
地形地質情報	空中写真			○	◎	○	
道路管理情報	道路防災土地条件図		○				
	道路台帳付図		◎			◎	
	過去の道路防災点検資料		◎		◎	○	○
	道路防災カルテ (最新版)		◎	◎	◎	○	○
	被災履歴			○			○
	規制状況等の記録			○			○
	防災対策施工履歴や完成図			○			○
	斜面変状モニタリングデータ			○			○
砂防管理情報	砂防関係指定位置図			○	◎		
	土石流渓流調査資料			○	○		
誘因情報	気象統計資料			○			
	誘因・素因情報		○	○	○		
素因情報	災害調査報告書			○	○		
	道路防災関連委員会資料			○			○
素因情報	現存植生図			○			
その他の情報	学会誌等の文献				○		

重要度 ◎：必須資料 ○：収集が望ましい資料

が相当程度認められる一連の区間

③ 最近の調査等で斜面や地盤に不安定性を示す地形地質等の素因が相当程度認められる区間(特に、災害履歴のある区間と類似の地形地質状況の区間など)

④ 平成8年度、平成9年度の道路防災総点検実施箇所のうち、要対策およびカルテ対応箇所を含む一連の区間

⑤ 通行規制区間や重点監視区間等の道路管理上注意の必要な区間

作成区間を選定するにあたり、図3のインデックスマップ

を作成します。少なくとも過去10年間程度の災害履歴および関連する変状等を、管内図や2.5万～5万分の1程度の縮尺の地形図に記載します。日常

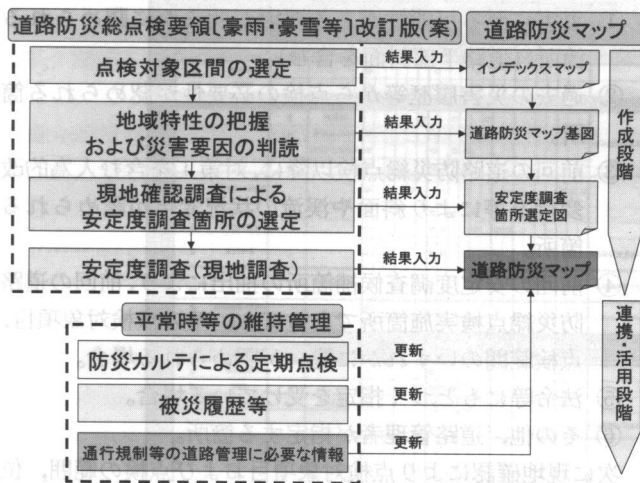


図2 道路防災マップの作成過程と道路防災総点検要領〔豪雨・豪雪等〕改訂版との関係

上調査における災害地形判読、「安定度調査箇所の選定」、「点検結果の整理と道路への危険度評価」の各段階に分けて記述します。

3. 作成区間の選定

道路防災マップの主な作成区間として、以下に示す①～⑤の区間が挙げられます。ここでの一連の区間とは、原則として数km～10kmの延長区間を指します。このうち⑤の通行規制区間については、重点的に整備し、将来の通行規制の解除や緩和の基礎資料として役立てると同時に、防災カルテと併せて日常および定期点検等の維持管理に活用することが望まれます。

- ① 過去に、災害、小落石・小崩壊が認められる一連区間
- ② 最近の点検等で構造物に不良、劣化、老朽化、変状等

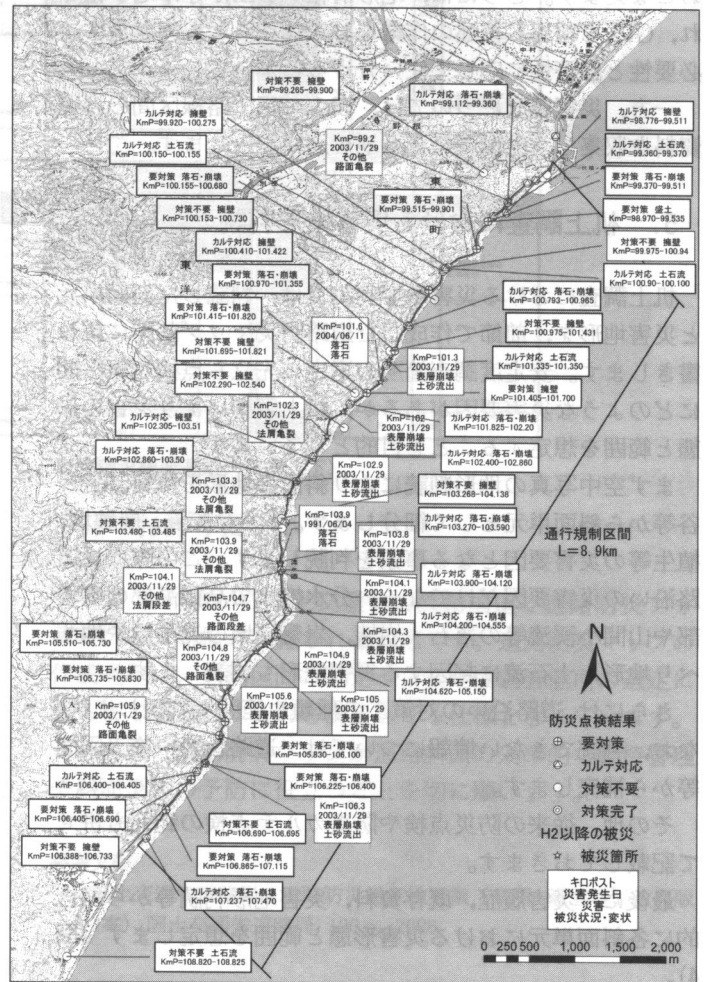


図3 インデックスマップの作成例

点検、定期点検、臨時点検の記録や報告書、および平成8年度の道路防災総点検等の結果や防災カルテ等の既存資料から、災害履歴を抽出し、用意した地図に災害の別、位置(距離標)、発生日、災害状況や構造物の変状や劣化等を記入します。なお、災害の別を特定できない場合には、「その他」として記入します。この中から、前述の①～⑤の項目に該当する一連の区間を抽出し、選定した区間を実線で表示します。

4. 地域特性の把握

地域特性の把握では、地形図と災害履歴等から道路防災マップ基図を作成します。作成区間における災害の特徴を把握し、後の点検対象項目と点検の着目点を明確にすることを目的としています。この基図に、今後の各段階での災害地形判読等の情報を重ね書きし、道路防災マップへと段階的に熟度を上げていきます(図2)。

基図作成には、まず道路に隣接する法面や斜面の背後の分水嶺までの範囲を縮尺1/5,000程度の地形図に編集します。なお、使用する地形図は、路線の状況や地形の別が分かるものであれば紙面によるもの、電子情報によるものを問いません。近年では、航空レーザー測量による地形図も整備されるようになってきました。この地形図では従来のものよりも精細に地形が表示され、詳細な災害地形判読をおこなえます。さらには、地形情報がDEM等に電子化され、GISを利用し後述の作業をおこなうこともできます。必要性和経済性にに応じて使い分けるとよいでしょう。

一方、災害履歴については、表1に示す路線区間の各種資料を収集し、先に編集した地形図に記入します。

5. 机上調査における災害地形判読

机上調査における災害地形判読では、判読した斜面単元と災害地形を、前節で作成した道路防災マップ基図に重ね書きします。安定度調査箇所の選定に先立ち点検対象区間にどのような災害要因があるか、机上調査により災害の形態と範囲を想定することを目的としています。

まず空中写真の地形判読により斜面の地形を傾斜、尾根、谷等から斜面単元として細分します。さらに転石、崩壊地、植生等の災害要因となる事象を判読します。この際には道路沿いの災害要因だけでなく、分水嶺まで高標高部の露岩部や山間小溪流等の落石・崩壊、岩盤崩壊の発生源や地すべり地形、土石流に起因する災害地形も判読します。

さらには、道路沿いの対策工の種類や範囲を判読します。なお、判読できない情報については、道路台帳や施工図面等から補完します。

その他、従来の防災点検や防災カルテ点検の範囲も併せて記載しておきます。

最後に、災害履歴、既存資料、災害地形判読等から総合的に各斜面単元における災害形態と範囲を想定します(図4)。

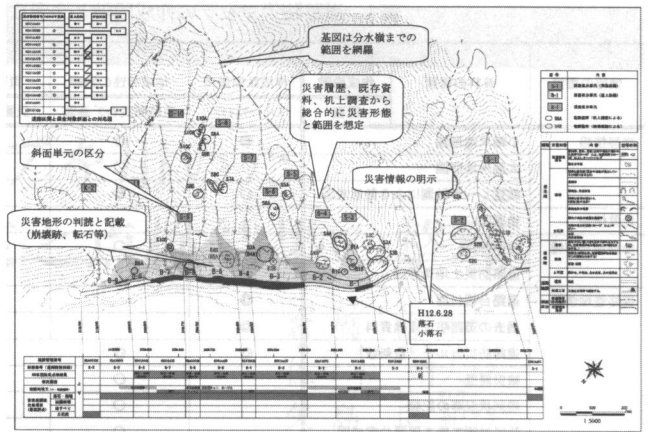


図4 災害地形判読図の例

6. 安定度調査箇所の選定

安定度調査箇所の選定では、まず、以下の①～⑥の抽出基準について確認し、図5に示す安定度調査箇所選定一覧表に整理します。また、各点検対象項目ごとの抽出基準については、道路防災総点検要領(豪雨・豪雪等)改訂版(案)¹⁾に従います。

- ① 災害に至る可能性がある要因が明らかに認められる箇所(道路下部斜面を含む)。
- ② 過去の災害履歴等から点検の必要性が認められる箇所。
- ③ 前回の道路防災総点検以降に、対策工を含む人為的改変行為等により斜面や溪流の状況変化が認められる箇所。
- ④ 前回の安定度調査候補箇所の抽出により、前回の道路防災総点検実施箇所であっても、その点検対象項目、点検範囲のいずれかに違いが認められる場合。
- ⑤ 法令等にもとづく指定を受けている場合。
- ⑥ その他、道路管理者が指定する箇所。

次に現地確認により点検対象項目および点検の範囲、位置(距離標)を確認します。ここでは、道路沿いで実施することを原則としています。

現地確認後に、調査対象施設の地形・地質・土質・構造・表層の状況等から、既設対策工や道路施設との位置関係、ならびに点検対象施設の設計条件がほぼ同一と考えられる区間を一つの単位としてくり、想定される災害の形態や範囲を決定します。最後に、従来の道路防災総点検や防災カルテ等と照合して、点検対象項目や範囲が一致しているかを確認し、安定度調査箇所を選定します。

7. 点検結果の整理と道路への影響評価

安定度調査を実施した後に安定度調査結果(評点)、対応区分等を表示帯に整理し、地図上に表記することで、道路防災マップを完成させます(図1, 図6)。ただし、道路への影響を評価する場合には、斜面単元ごとの安定度調査結果のみならず、背後等の斜面も含めて総合的に評価しなければなりません。また、対応区分については、想定される

アセットマネジメント

おおほり かつ まさ
大堀 勝正*

1. アセットマネジメントとは

アセットマネジメント（以下、AMという）とは、通常、貯金、株式、債権などの個人や組織の金融資産をリスク、収益性などを勘案して、適切に資産運用することにより、その資産価値を最大化する活動を指す。

近年、土地や建築物を主な対象とした不動産についても投資家にとって株や債権と同列の投資財と位置づけられ、金融商品なみの運営・管理の合理性、効率性の追求、情報開示による透明性の向上が求められるようになった。そのため、メンテナンス的業務を主体とした不動産管理だけでは不十分で、リスクを客観的に把握・管理しつつ不動産ポートフォリオ*の資産価値を最大化することを目的とした金融資産の運用としてのマネジメントが正業化した。

このように、AMは、もともと利潤を追求する民間分野で使われている言葉で、資産全体をリスクとリターンのバランスを考慮してマネージするものである。

※：投資対象である資産を組合せて一つの投資とみなしたときの投資配分

2. 社会資本への期待

わが国の社会資本は、1950年代後半からの高度経済成長とともに整備が急速に進められ、現在までに相当量のストックが蓄積されてきた（図1）。これらの施設の多くは数十年後に集中的に老朽化することが予想され、今後、財政の

圧迫、安全性の低下など経済活動や生活面において重大な影響を及ぼすものと懸念される。

こうした危機感が近年広まっており、先に社会資本の老朽化を経験した欧米で取り組まれている社会資本におけるAMの手法を適用

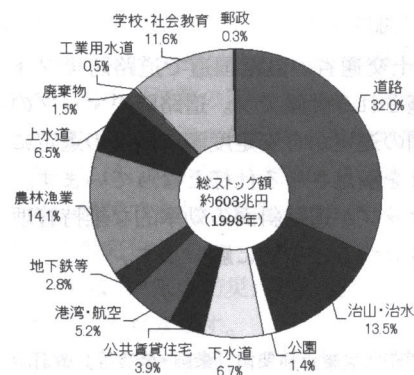


図1 社会資本の総ストック額¹⁾

することが注目されている。

社会資本におけるAMを民間企業に例えるなら、国や地方公共団体などの公的機関は、納税者・住民・利用者という投資家から委託された資本（税金や建設国債等）を投下して、社会資本という「資産」を形成することを任されている経営者に相当する。この観点から、公的機関は、投下資本によって形成した社会資本を良好な状態に維持管理し、効果的・効率的に運営し、社会資本から得られる効果（資産価値）を最大化することを期待されている。

1980年代の米国では、①構造物の老朽化、②財源不足、③財務報告の要求を主な要因としてAMが導入された²⁾。その後、先進国では、④NPM(New Public Management)等の行政改革、⑤公会計制度の改革、⑥ITの進展などいくつかの要因も重なり、社会資本におけるAMの動きは多様化しながら加速している。

3. 社会資本におけるAMの基本概念

社会資本は大規模で複雑な「資産」であり、公共財としての役割もあるため、民間的なAMをそのまま適用できないが、次のような基本概念で取り組まれている。

(1) 社会資本におけるAMの定義

社会資本のAMにはさまざまな定義がある。ただ、以下の定義にみられるように、工学的的手法、経済分析、経営学的実践が主要素であることがわかる。

① 米国連邦道路庁 (FHWA)³⁾

AMは、物理的な資産を費用率的に維持管理し、機能を向上させ、運営するための体系的なプロセスである。それは、工学的原理と最善な事業活動事例、および経済理論と組合せたものであり、意思決定のための体系的で論理的なアプローチを容易にするツールを提供するものである。このようにAMは、短期的計画、長期的計画の両方を扱うフレームワークを提供する。

② ニューヨーク市⁴⁾

AMとは、交通関連資産を費用率的に運営、維持管理および改修するための体系的なプロセスである。工学的・数学的分析と、最善な事業活動事例（ベスト・プラクティス）および経済理論を組合せたものである。

③ 英国環境・運輸・国土省 (DETR)⁵⁾

* (株)建設技術研究所 マネジメント事業部

AMとは、土地および建物の戦略的なマネジメントであり、サービス提供に伴う便益や金銭的収益のために、資産利用を最適化することである。

④ 日本 土木学会⁶⁾

国民の共有財産である社会資本を、国民の利益向上のために、長期的視点に立って、効率的、効果的に管理・運営する体系化された実践活動。工学、経済学、経営学などの分野における知見を総合的に用いながら、継続して（ねばりよく）行うものである。

(2) AMの基本フレーム

AMは、一般的に、①構造物マネジメントと②資産全体のマネジメントの2つのレベルに区分できる。その内容は複雑であるが、単純化すると図2のように整理できる。つまり、ミクロ的には構造物のライフサイクルコスト最小化、マクロ的には中長期的な予算の最適配分、透明性を確保した利害調整等を同時に実現させるシステムと捉えることができる。

実務面では、予算配分の根拠づけが重要である。その際、長期的な予測に含まれる多くのリスクを客観的に把握・管理しつつ、望まれる効果を有効に機能させる運用としてのマネジメントの「合理性」を示す必要がある。

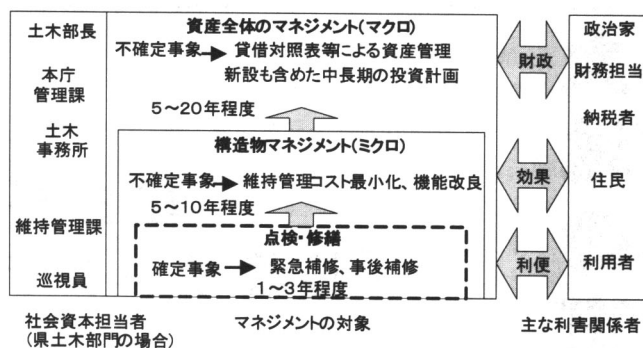


図2 AMの基本フレーム

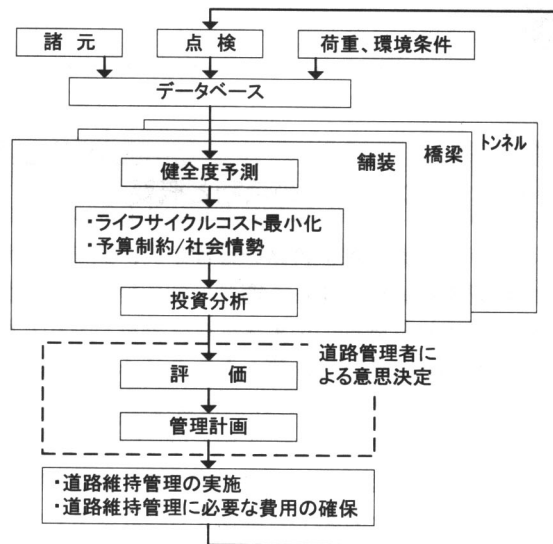


図3 道路AMのフロー（国土交通省の場合）⁷⁾

4. 道路における応用例

多くの道路AM事例では、主に舗装と橋梁を対象として予算制約下で、ライフサイクルコスト（LCC）の最小化を目指した構造物マネジメントが行われている。その基本フレームは図3のように客観データによる長期シミュレーションに基づいており、次の対策が行われる。

- ① 適切な補修・補強による構造物の延命化
- ② 計画的な補修
- ③ 新規施設の長寿命化、等

図4に示す例では、橋梁のLCC分析結果を公開し、行政が利用者や納税者に適切な説明責任を果たすことで、サンフランシスコ市の反対方向に向かう橋梁の更新が認められ、実際に更新事業（新設）が行われた。このように、AMは、維持管理のみならず更新も含めて用いられている⁸⁾。

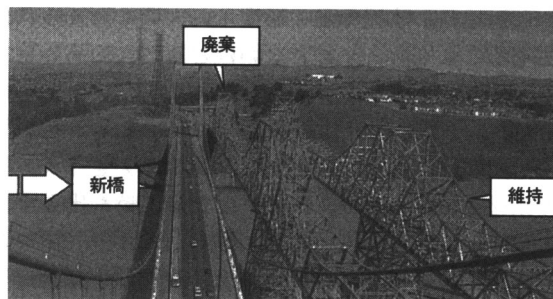


図4 米国のカルキネス橋にみるAM事例⁸⁾

5. 今後の展望と課題

AMの導入効果は、主に次の3点であるという報告がある⁹⁾。ただし、多くの事例は一部の構造物マネジメントにとどまっているのが実状であり、適用範囲の拡大が望まれる。

- ① 必要事業費確保（予算要求等）の向上
- ② 維持管理の効率化（コスト縮減、健全度の向上）
- ③ アカウンタビリティの向上

AMの導入にあたっては、次のような課題がある⁹⁾。

- ① 点検・調査等によるデータの収集・蓄積
- ② 維持管理計画の策定と予算措置
- ③ 意思決定プロセスの透明化および説明責任
- ④ 維持管理体制の確保
- ⑤ 計画的な実施と継続的なモニタリング

⑥ リスク評価に基づく合理性の向上

これまでAMの関心は、目にみえる構造物に寄せられることが多かった。しかし、構造物をとりまく地質に多くのリスクがあることがコスト面、安全面、環境面から注目されており、今後、地質技術者の活躍が期待される。

参考文献

- 1) 内閣府：日本の社会資本―世代を超えるストック―，2002. 7.
- 2) Hudson, W. R. et al：Infrastructure Management, 1997.
- 3) FHWA：Asset Management Primer, 1999.
- 4) NYC：Asset Management Task Force, 1998.
- 5) DETR：Land and Buildings-Good Practice Guidelines, 2000.
- 6) 土木学会：アセットマネジメント導入への挑戦，2005. 11.
- 7) 中谷昌一：良好な道路資産管理に向けて，道路，2004. 10.
- 8) 写真：CALTRANS 資料
- 9) 大堀勝正・中村裕司：社会資本におけるアセットマネジメントの定義と実用化に向けた課題について，土木学会誌，2004. 8.

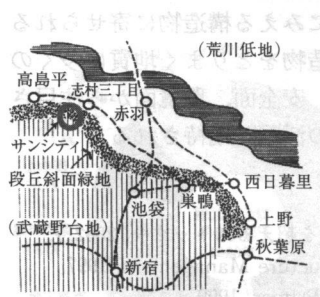
段丘斜面緑地の保全 「板橋サンシティ」住民活動の意味

グリーンボランティアの活動と概要

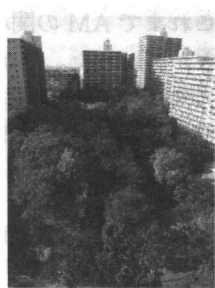
サンシティは、東京都板橋区のほぼ中央、武蔵野台地端に連なる段丘斜面に位置する。南側は武蔵野台地、北側は荒川低地に挟まれ、敷地の中央部には、沖積（荒川）低地が南北に細長い谷になって北側から入り込み、洪積台地を開析している。比高差 15 m の起伏に富む地形を持つ。

サンシティは、面積 12.4 ha、人口 6200 人の集合住宅地、一面の樹海の中に高層住棟がそびえ立つ。ここの樹々はこの町と共にゆっくりと加齢し、樹海となった。

この樹海の世話（ケア）をするのは、サンシティ・グリーンボランティア約 90 名だ。約 25 年前、禿山だった中央の大きな緑地は、住民の手で植樹され大切に育てられ、今では住宅地としてあまり適さないほど自然性の高い雑木林となり、グリーンボランティアらのコミュニティ活動の場となった。ボランティアは毎週 20 名ほどが、入れ替わりながら剪定、間伐、補植、枝打ちなど緑のケアを行う。間伐などの残材や枝葉などは、一切ゴミとして持ち出さず、シイタケ栽培、炭焼き、土留め柵、堆肥、ピオトープなど敷地内で活用しリサイクル。シイタケ・炭など生産物は住民らに販売。その売上および各種助成金などの収入は管理組合に帰属。ボランティアは、雑木林の管理だけではなく、建物周りの植栽の剪定や花壇の手入れなどもする。



段丘斜面緑地の連続性



住棟に囲まれた再生した樹林

新しい「ふるさと」づくり

一方、サンシティは近代的な都会の町であるにもかかわらず、「ふるさと」が作られつつある。25 年前ここに住み着

いたサラリーマン家主は現在すでに 60~80 代。近年、独立した子の家族や田舎の親を、団地内に呼び寄せることが盛んだ。その上、多くのサークルやボランティアグループがあり、活発なコミュニティ活動が行われている。ここには、「すばらしい自然」「豊かな住環境」「暖かな人間関係」がある。高い定住率はこうした「住みやすさ」に起因している。入居希望者が多く、築 20 年のマンションであるにもかかわらず売値が下がらないという経済効果も見逃せない。

この団地の設計者でもある私は、「緑の保全回復」「コミュニティの創出」による「ふるさとづくり」を提案して以来、約 30 年間この団地の樹々と人々に付き合ってきた。建設中のワークショップ・植樹祭、10 周年記念の 1 年かけた住民参加型環境整備、最近の維持管理・グリーンボランティアに関する一連のコンサルティングなどだ。

なお 1999 年には、完成 20 周年としてこの活動の意味を問い応募した「緑の都市賞」で「建設大臣賞」、2000 年 4 月「板橋区環境保全賞」、2000 年 5 月「ランドスケープコンサルタンツ協会賞最優秀賞」、2001 年 5 月「日本造園学会賞」を受賞するなど、ボランティアの士気高揚に著しく貢献。

その後さまざま表彰や、テレビ、雑誌の取材など、ボランティアの爺さん婆さんたちは、超売れっ子である。

建設は 9 年間 (1972 年~1981 年) を経て完成。建物は一般的だが、当時よくみられた高層板状住棟平行配置ではなく、地形の起伏を生かし大きな緑地を中央に確保し周囲に低・中・高層の住棟を配置するなど、当時としては新しい開発手法を採用。私は、設計コンペでこのランドスケーププランを提案し採用され、このプロジェクトに深く参画。

その後、私は完成・入居・維持管理など、約 30 年間、付かず離れずこの人々と樹々に関わってきた。既存林を残し、新たに雑木林を再生させ、人と自然の共生をねらった試みは見事に成功した。緑の中に点在する意図的につくられたコミュニティ施設も、成熟したコミュニティ活動の拠点として自主的に活用されている。

値上がり買替えが常識で住民が定住せず、仮住まい化したマンションのスラム化が社会問題になっていた約 30 年前、サンシティでは定住型住宅地を目指し、「新しいふるさとづくり」を掲げた。施設ばかりでなく、緑やコミュニティなどの質的な環境を整えることこそ重要としたことが、

成功につながった。住民と一緒にボランティア活動に参加する中で、30年後の今、やっと証明されたと感じる。

計画・設計の考え方

「ふるさとづくり」では、「快適で多様なコミュニティ施設の創出」「既存樹木の保全と武蔵野林の復元」を掲げた。

まず旧住民と新住民のコミュニティを重視し、公共公益施設を敷地の中心部ではなく周辺部に配置し外部の利用者に開放。車道は外部にまわし、住棟に囲まれた安全で快適な歩行者専用空間：コミュニティガーデンを創出。コミュニティ計画では、樹木の中に広場・プレイロット・カルチャーセンター・集会室などコミュニティ施設を点在させた。

緑の計画では、段丘斜面緑地の連続性保持のため、「開発が分断」ではなく、「開発が自然再生」となるよう、武蔵野林の保全・再生を推進。また野鳥など動物の保全として、既存緑地の一面をサンクチュアリ（聖域）として保存。結果的にサンシティは、生物生息の核となり、周辺地域にさまざまな生物を供給。段丘斜面緑地を生かしたエコロジカルネットワーク構築（動物の移動経路確保）に貢献した。

緑地は敷地面積の36%も確保した関係で、緑の省管理化が求められ、経年的な自然遷移を応用した維持管理法を提案。また住宅地内の緑地として、自然性のみでなく機能性・安全性・娯楽性・情緒性・文化性などにも配慮し、これらがボランティアによる自主管理活動へつながった。

ボランティアへのコンサルティングと秘訣

1996年秋、サンシティ管理組合より維持管理業者の選択に関して相談を受けた。その中で私は「住民参加による維持管理ボランティア」の仕組みを提案。1997年2月にボランティア組織を立ち上げに協力。私はその後現在まで、ボランティアのコンサルタントを継続している。

コンサルティングでは、最初は、ボランティアが参加するためのしくみづくりと、だれでもができるようにとマニュアルづくりや、その実践活動に。活動初期では参加しやすく持続するようにと楽しみやイベントづくりに。軌道に乗った3~4年目以降は、住民全体の中での理解や認知、合意形成、会員の拡大、管理技術の向上、などに力点を置き、自主活動へ移行させた。その後、レベルが上がるにつれ、ボランティア自身による助成金確保や、シンポジウム開催・小中学校と連携した環境教育など活動の幅も広がった。その後、学会・新聞・雑誌・テレビへの発表や取材協力、講演会講師、各種賞への応募など情報発信活動を行った結果、外部から高い評価を受け、会員内の意識の向上、住民



入居記念に禿山に植樹祭



住宅地の真ん中で炭焼き

の認知・合意形成などに著しい効果があった。

サンシティでは、緑に関するさまざまな問題点があると、樹木医・炭焼き家・大学教授など各種プロの専門家に相談をして解決し、専門家の意見や技術を取り入れることで本格的な活動をしてきた。日常的な維持管理には、管理業者も一緒に活動するし、地元庭師も楽しみとして参加し剪定などを指導し、ボランティアらの技術力向上に著しく貢献。会員の中にもガーデニング・野菜づくり・機械整備などさまざまな専門家もいて重要な役割を持つ。また活動を継続する中で竹垣や堆肥づくり・炭焼き無煙化など専門性の高い達人たちも生まれてくる。組織的には管理組合の実行組織でサークル活動とは異なる。すなわち趣味的で私的な作業ではなく組織的で公的な作業として位置づけられ、管理組合より弁当・道具代などの活動資金の提供を受け、同時に生産物売上・補助金など管理組合の収入としている。

以上のように、①必要に応じて専門家を導入し、きわめて専門的な考え方による本格的な活動、②管理組合などのスポンサーのもとで公認された活動、③それに楽しみや生きがいとして参加する大勢のボランティアらの存在が、このボランティア維持管理活動の特徴で成功の秘訣である。

今後の方向と課題

この活動の持続には、「住宅地にふさわしい森林の在り方」や「その管理・運営計画の立案」が重要と認識している。街や人とともに高齢化した樹木の将来に向けた維持・管理・運営においては、これからが正念場だ。資源リサイクル・高齢者生きがい・コスト縮減・いきもの共生・健康運動・住民参加・環境学習などの今日的テーマを内包するこの活動が、次の世代へと受継がれてゆくためにも、活動の意味と価値を明らかにし、情報発信を続けるつもりだ。

都心の住宅地の真中にあって、園芸的な花木や草花、人為で持ち込まれたカタクリなどの野草、自然再生したキンラン・キツネノカミソリなど野生種が共存し、炭焼き・シイタケ・タケノコを栽培するサンシティ独自の新しい「都市的共生型雑木林」が「大地の恵み」として生まれてきた。オオタカの生息する保全すべき「里山」ではなく、人為的に創られ庭いじりのように人が関わることで持続する「都市の森」として、この雑木林を我々は「町山」と名づけた。

ボランティアの目的は「楽しみや生きがい」だ。ボランティアは無償の「労働力」ではない。「楽しみや生きがい」として「緑の維持管理活動」がある訳で、参加者も会社をリタイアした元気な高齢者が多い。最近では中学生らも参加。従ってイベントの企画は欠かせない。ボランティアの活動は毎週土日に1回、午前2時間作業・昼休み1時間（ビール一杯・弁当付）・午後2時間作業・その後ビール一杯の休息と打ち合わせ。各種イベントは毎月1回程である。

- 1) 有賀：「コミュニティ・ランドスケープの計画と育成」, ランドスケープ研究, VOL. 65, NO. 2, (社)日本造園学会, 2001.9.

(有賀一郎 [サンコーコンサルタント(株) 樹木医])

品質確保法が地質調査業に期待するもの ～品質向上への連携～

こばやし こうぞう*
小林 恒三*

まえがき

「品質法」の施行以降、国土交通省は工事への総合評価方式導入に続き、設計業務、地質調査業務への適用を開始した。一方、地方自治体では技術提案の評価体制、小規模工事の提案余地などから、国の取組みの模様眺め様相である。本稿では「品質法」施行が地質調査の価値が認められる恰好の機会であり、業界として主体的に対応することの重要性、切迫性を述べる。読者諸賢のご批判を戴ければ幸甚である。

1. 品質法のねらい

「品質法」の正式名称は「公共工事の品質確保の促進に関する法律」(平成十七年三月三十一日法律第十八号)である。低価格落札(ダンピング)の対応策の検討過程で立案・制定された。しかし、法の施行当初は実効性に懐疑的な見方もあった。理由は、「改正独禁法」のような罰則規定がないこと、現実の低価格入札の正常化のための具体施策が欠けていることなどである。確かに条文内容は、公共工事の品質の理念、受・発注者の責務、技術による業者選定法など、建設業界で常識的な事柄も多い。

では品質法は単なる理念法に過ぎないのであろうか？ 筆者は条文の根底に3つの重大なねらいがあると思う。

(1) 公共工事調達原則に品質(技術)を加味

これまで公共工事の調達には、会計法、予決算、地方自治法等によって一般物品と同様に価格競争が原則とされていた。「品質法」ではそれらで例外扱いであった価格以外の要

公共工事の品質は、建設工事が、目的物が使用されて初めてその品質を確認できること、その品質が受注者の技術的能力に負うところが大きいこと、個別の工事により条件が異なること等の特性を有することにかんがみ、経済性に配慮しつつ価格以外の多様な要素をも考慮し、価格及び品質が総合的に優れた内容の契約がなされることにより、確保されなければならない。

(第三条)

素を考慮した調達を基本とした(前記条文参照)。

「品質法」施行以降の一連の国の動き(表1)は、この公共工事調達原則の大転換が机上の理念で終わらず、入札契約制度の変化として具体的に進んでいることを示している。

表1 品質法施行以降の国の動き

H 17.8.26	施策推進に関する閣議決定
H 17.9	国土交通省直轄工事における品質確保促進ガイドライン
H 17.9	公共工事における総合評価方式活用ガイドライン
H 17.10	国交省通達「一般競争入札の拡大について」
H 17.10	中部地整「発注者支援機関認定制度」の創設
H 18.4	高度技術提案型総合評価方式の手続きについて

それを端的に象徴するものが「公共工事における総合評価方式活用ガイドライン」に導入した“総合評価方式”である。本方式は、「公共工事の入札・契約制度の見直し」の過程で多様な入札・契約制度の一つとして紹介されたが、期待ほどには普及しなかったようである。何故「品質法」がこれに着目したのか？ 鍵はその特色(下記)にある。

発注者の視点

- 不良不適格業者の排除理由説明が明解
- 民間の優れた技術力を技術提案として吸収可能
- 上記の結果、公共工事の品質が向上

請負業者の視点

- 価格だけの競争(指名競争、一般競争)に比較して、技術と価格の競争は談合し難い
- 技術提案により差別化することで、マーケットの維持、拡大が可能
- 結果的には低価格入札の歯止めとなる

(2) 予定価格の上限拘束性の緩和

品質法の第十四条は下記のように規定している。

発注者は、高度な技術又は優れた工夫を含む技術提案を求めたときは、当該技術提案の審査の結果を踏まえて、予定価格を定めることができる。この場合において、発注者は、当該技術提案の審査に当たり、中立の立場で公正な判断をすることができる学識経験者の意見を聴くものとする。(第十四条)

* 基礎地盤コンサルタンツ(株) ISO推進部次長

会計法、予決令は最低価格提示者をもって契約者とする
と定めているため、品確法（総合評価方式）に則って仮に
ライフサイクル全体のコスト縮減・性能向上に効果のある
技術提案がなされても、予定価格を超えれば不採用となる。
第十四条は、“高度な技術又は優れた工夫を含む技術提案を
求めたとき”と条件付きではあるが、その決別を宣言した
ものといえる。

(3) 発注機関と技術提案者との交渉の場を明確化

「品確法」第十三条は下記のように規定している。

発注者は、技術提案をした者に対し、その審査において、当該技術提案についての改善を求め、又は改善を提案する機会を与えることができる。この場合において、発注者は、技術提案の改善に係る過程について、その概要を公表しなければならない。(第十三条)

発注者と請負業者が技術提案の改善という限定された枠内ではあるが、入札契約前に共同のテーブルに付くというこの規定は、これまでの公共調達における甲乙関係(指示・承諾関係)を大きく転換したものだといえる。

以上のことからみて「品確法」は低価格入札の歯止めを止まらず、会計法、予決令、地方自治法による公共工事調達原則の転換の幕開けといえることができる。

2. 低価格入札の拡大と品確法

本章では品確法施行以降も低価格入札(ダンピング)が収まるどころか、益々拡大様相を呈していることを紹介し、品確法の問題、効果について、検討・検証する。

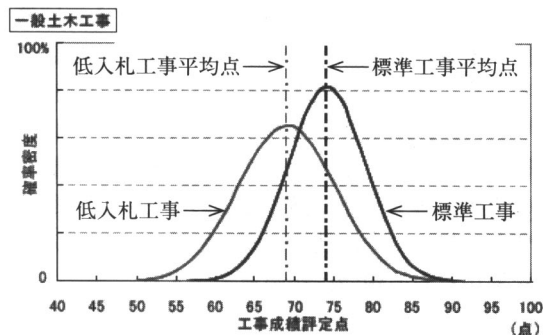
(1) 低価格入札の品質影響について

低価格入札は、指名競争をいち早く廃止し、一般競争入札へと移行した一部地方自治体で顕在化した。当時の大方の受け止めは公共工事入札競争の甘さが是正されたとする肯定的評価であった。しかし、その後のさらなる落札率の低下および事象発生拡大は、肯定的評価を覆すほどの急激な様相を呈している。独禁法の不当廉売行為に抵触するかどうかの順守性判断は公正取引委員会の判断になるとして、低価格入札が与えるさまざまな悪影響が懸念される。この点に関して本年3月、国交省が興味深いデータを公表している(図1参照)。

ここで取り上げた工事成績は発注者が出来型確認、竣工検査等で発見した事象からの判断であり、表面下の品質問題、安全低下、下請けの締め付け、さらには元請負自身の収益圧迫など、考慮外であるが、明らかに低価格入札がもたらす負の品質影響が示されている。

(2) 応急対応と品確法の立法精神

平成18年4月14日、国土交通省は、「低価格入札への対応」と題する内部通達を発令した(平成15年2月に続いて2回目)。そこでは下請け業者への支払い確認のための立入調査、モニターカメラの現場設置、監理技術者の増員要求、工事コスト徹底調査などの厳しい追加措置が打ち出されている。土工協など業界団体はこれに同調して低価格入札の自粛を呼びかける意見表明を行っている。



平成15年度完成国土交通省直轄土木工事のうち一般土木対象(5,847件)(※宮籍、港湾空港事業を除く)

※標準工事：当初契約金額が調査基準価格以上である工事
 ※低入札工事：当初契約金額が調査基準価格を下回る工事
 ※調査基準価格=(直接工事費)+(共通仮設費)+(現場管理費の1/5)

図1 標準工事と低入札工事の工事成績評価比較

(出典：「工事成績評価の分析」国土交通省、H18.3)⁵⁾

確かにこのような管理的措置は避けられない面があり、それによって決定的な品質、安全などの低下は防止できそうである。しかし、そもそも低価格入札の背景には構造的な需給アンバランス、それに伴う受注競争激化があり、企業経営上の戦略的判断が複雑に絡んでいるのである。今後たたき合いは続くのか解消していくのか予断はできない。ただ、建設関連業界に身を置く筆者が感ずるのは、「品確法」は理念であり現実の市場は別であると割り切る考え方では何も解決せず、寧ろ技術と経営に優れた企業も含めて業界全体の活力低下、疲弊が起こることである。公共工事(業務)の品質確保というシナリオはそれに正面から対応する企業には追い風となるものである。「品確法」の基幹施策である“総合評価方式発注”が緒に付いたところであることも踏まえ、地質調査業界関係者はその理念を先取りした節度ある行動を期待したい。

3. 品確法が変える建設業界の構造

(1) 建設業界の構造変化

「品確法」の施行と前後して、建設分野の業界団体から建設事業の遂行体制に関するレポートが公表されている。そこには各関係者が既存領域を残しつつ業容拡大を指向している構図が垣間見える(図2参照)。

この業容拡大構想は何も新しいことではない。これまで各界からそれぞれの思惑で提案されていた。ただ、設計・施工分離原則、瑕疵担保に代表されるリスク分担などが障害となって実現化が遅々としていたのが実態のようである。「品確法」は、民間技術力の活用、技術提案とそれ以降の交渉、予定価格の柔軟化など(本稿1参照)により、その根底制約を取り払い、構想加速化の役割を果たした。

(2) 全地連の意見表明

全地連は、平成17年11月、会誌「地質と調査」'05第4号において、「公共工事の品質確保の促進に関する法律」に関する地質調査業の意見表明と題する声明を公表している。そこには9項目にわたって、発注者に向けての提案が

なされている⁹⁾。しかし、発注者がこれにどのように回答したかその後公表されていない。提案内容の早期実現願う立場から筆者としては、この提案がどのような場で発注者に投げかけられたか、反応等も含めての紹介を望みたい。

国民の視点からみたととき、この9項目提案は地盤調査がもつ旧来の業界イメージを転換するものである。市民、エンドユーザーに対しても、社会の安心と国土の安全に向けた地質調査業からの情報発信が必要と感ずる。

4. 地盤調査エンジニアが今後なすべきこと

(1) 業容拡大に向けた技術提案

総合評価方式では、工事特性（規模、技術的な工夫の余地）に応じて技術提案の期待範囲が分けられている（表2参照）。これは業者側の技術提案に要するコストおよび発注者側の審査労力に対する技術提案の社会的便益を勘案した結果であり、今後、設計業務、調査業務の総合評価方式発注でも同様の整理法が行われると推察される（現在国土交通省で数件の総合評価方式による業務発注があるが、提案内容は競争参加業者以外に公表されていない）。

筆者はこのような過渡期こそ地質調査業界が公共事業（工事を越えて）の品質向上への積極的な姿勢を発注者にアピールし、さらには、その先取りとして戦略的な技術提案（表3）を業界として先導していくべきだと思う。

表2 総合評価方式での技術提案の範囲：工事⁹⁾（ガイドライン）

タイプ	技術提案の期待範囲：工事
簡易型	特に提案不要 施工計画、工事実績、配置技術者の能力審査のみ
標準型	施工上の提案 (安全配慮、環境影響、工期短縮)
高度技術提案型	品質向上に係る提案 (強度、耐久性、景観、ライフサイクルコスト)

表3 総合評価方式での技術提案の範囲：地盤調査業務（筆者提案）

タイプ	技術提案の期待範囲：業務
簡易型	特に提案不要
標準型	業務遂行上の提案 (安全配慮、環境影響、工期短縮)
高度技術提案型	社会的便益向上に係る提案 土と基礎構造物…(耐久性、ライフサイクルコスト) 共通…(点検、補修補強検討、台帳管理、防災計画、地盤環境影響評価、住民説明)

これまで地質調査での技術提案は、計画書中の“調査計画の検討”か、または報告書中の“設計・施工に関する考察”として、ある意味で提案内容の結果責任を問われない配慮がなされてきた。これは地盤調査業に限らず設計でも工事でも共通する思想で、事業リスクの全ては発注者が負うとの我が国の公共事業制度に根源的背景がある。しかし、このような分業体制では与えられたコストと工期のもとで寸断された個々のプロセスと構造物性能の最大化という命

題へのアプローチはできても、品質とコストを全体として最適化する（もちろんプロジェクトの目的、インフラ整備水準を勘案した上でのこと）ことは難しい。「品確法」の実効性確保を真剣に考えるならば、技術提案の内容（範囲）を建設事業全体（企画立案から廃棄までの全ライフサイクル）に拡げつつ、設計・施工責任のリスクを負わない維持管理分野や事業企画段階での発注者支援に視野を広げることが必要と思う（図2参照）。

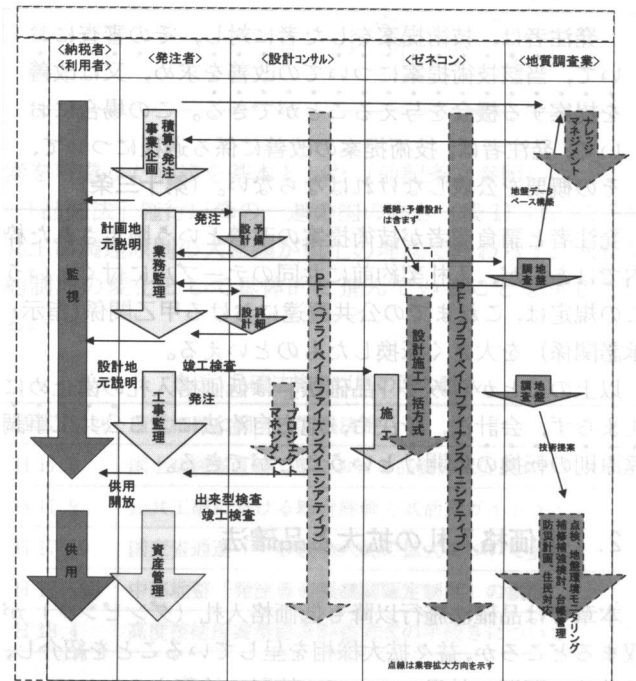


図2 建設事業における各分野の役割分担の変化（本稿用に小林作成）

(2) 設計・施工への主体的関与

地質調査業は、事業者としての役割が法令上規定されていない珍しい業界である（建設コンサルタント業も登録規定はあるが役割は規定されていない）。実際、地質調査業の中には、あらかじめ定められた調査・試験法に則って地盤を探る・計ることに重きをおく企業（ハード主体企業）から、そこで得られた地盤情報に基づいてプロジェクトの全体についての地質的ジャッジを行う企業（ソフト主体企業）まで業態は多彩である。

しかし、性能設計化の流れの中で、地盤調査のコストパフォーマンスの説明を求められる機会が次第に増えてきている。ハード主体の企業であっても、「自社(自分)は設計・施工のことは詳しくないので…」 「調査仕様を提示して欲しい」 「検討費用はもらっていないので…」 などと弁解・戻り込みしていたのでは発注者や設計コンサルタントの信頼は得られない。もちろんソフト主体企業ではそれに加えて、地盤が抱えるさまざまなリスク（豪雨時斜面崩壊、地震時液状化・流動化、永久変形、地下水位変動、地盤汚染等）による設計・施工への影響のコメントを求められるであろう。

解決策は、地盤調査エンジニアの総合技術力を高めるとともに、地盤調査報告書提出以降の設計・施工プロセ

スにも主体的に係わっていくことである。筆者の所属会社を見ると、設計技術基準の勉強会、設計事例の報告会などには積極的に取り組んでいるが、関与については発注者任せの面が強い。確かに制度上難しい面はある。

改善のためには発想を変えることである。具体的には、①地盤調査・試験の不確実性とそれを事業に与えるリスク(損失)について、業務着手時から完了時まで事あるごとに発注者に伝える、②それを補完するために、特に施工段階でのモニタリングが重要であることを伝え、その計画(概要でもよい)を提案する、③モニタリングが実現したら、施工者だけでなく設計者の期待にも応えるべく問題解決(施工トラブルの復旧、リスク提言のための補完調査等)に精励すること、を心掛けるとよいのではないかと。

話は逸れるが、建設事業の遂行体制として昨今“三者構造”⁴⁾が取りざたされている。“三者構造”とは、発注者(官)と請負業者(民)というこれまでの枠組みにもう一つの独立した機関を想定するもので、当該機関に納税者の立場からの監視を期待する訳である。多くはPFIスキームの下で進められている。公共工事の場合、第三機関の担い手がどうなるか予測は難しい。地盤調査エンジニアとしては、今後、これが導入されるような場合にも備えておく意味はある。設計・施工プロセスへの関わりを持つことは、そのインフラになるのではないかと思う。(図3参照)

(3) 調査業の内部プロセスの透明性向上

ある建設関連雑誌の調査によれば低価格入札が続く中で、工事(業務)の品質、安全等の低下を懸念する発注者が格段に増えていることと対比して、発注者が描く信頼できる会社のイメージが紹介されている。その上位5要件を挙げると、①実績が豊富な会社、②打ち合わせや説明資料が分かりやすい会社、③過去の工事(業務)成績が良い会社、④積極的に技術提案してくれる会社、⑤技術士など資格保有者が多い会社、となっている。筆者の立場上からの関心事項である、ISO 9001の認証登録を要件としてあげる発注者は、残念ながら12番目である。この回答を見て分かるのは、5要件のほとんどが経営事項審査、技術審査基準、業務成績評価等で評価項目として折り込み済みであることである。

発注者は我々地盤調査業にどのような信頼感をもっているであろうか? 残念ながら、筆者の手元にはそれを示す資料は無い。ただ、昨今の施工業界、設計コンサルタント業界の業容拡大構想と、「品確法」を契機に認知が広がった「設計施工一括方式」「設計者の施工関与」を見ると、地盤調査に対する認知が低いとの感を持つ。我々地盤調査業界では地盤の不確実性という誰も異を唱えることのできない特異性に甘え、よほど特殊な重要構造物を除き調査結果の信頼性、誤差、精度などはほとんど問題にしてこなかった面がある(技術基準等での設計地盤定数設定の際の配慮はその保険的措置といえる)。事業リスクを負わずに済むとい

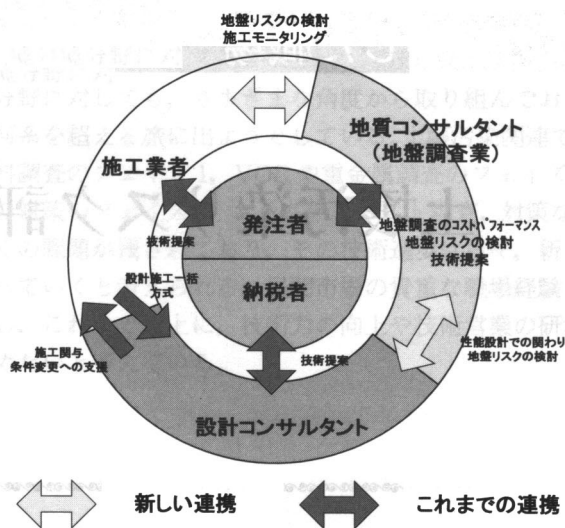


図3 地質コンサルタントの設計・施工への参画イメージ (本稿用に小林作成)

う面と裏腹である。「品確法」はこのパンドラの箱を開いた。地盤調査業と地盤調査結果に対する信頼性を高めていくためには、負うことの可能なリスク範囲を発注者側に提示するとともに、確定したリスク範囲に対しては、それを最小化するために、地盤調査の内部プロセスを透明化していかなければならない。計測機器の校正および検定、作業手順の標準化、作業の節目でのチェック等、ISO 9001を活用したい。

5. あとがき

本稿は、今年の全地連e-フォーラム(名古屋)での問題提起を意図して作成したものである。本文中には十分な考察に基づかない論述等もある。読者諸賢のご教示・ご批判を戴ければ幸甚です。

なお、本拙稿の提供の場を与えて戴いた上、適切なアドバイスを下さった全地連編集委員会委員長小野氏に感謝致します。

参考文献

- 1) (社)全国地質調査業協会連合会:「地質調査業の21世紀ビジョン」,平成13年。
- 2) (社)日本建設業団体連合会外連名:「公共工事調達制度のあり方に関する提言」,平成16年9月。
- 3) (社)建設コンサルタント協会:「中期行動計画」,平成16年5月。
- 4) (社)土木学会:「土木技術者の信頼回復を目指して」,平成18年4月。
- 5) 国土交通省全国工事監視官等会議:「工事成績評定の分析」,平成18年3月。
- 6) 国土交通省関東地方整備局:「総合評価方式の適用ガイドライン」,平成17年11月。
- 7) 公共工事における総合評価方式活用検討委員会:「高度技術提案型総合評価方式の手続きについて」,平成17年11月。
- 8) (社)全国地質調査業協会連合会:地質と調査,'05第4号,pp.70-72,平成17年。

土壤汚染リスク評価の最前線を経験して

いまだ まきはる
今田 真治*

平成15年2月の土壤汚染対策法の施行前後から地質調査業界においても土壤汚染業務への取り組みが進んでいる。

当社でも、以前より土壤汚染業務への取り組みを行っているが、その取り組みの一環として、当社と業務提携を行っている株式会社アースアプレイザル社に約1年間出向し、勤務した。

アースアプレイザル社（以下、アース社と略す）は、当社を含めた全地連の一部会員企業を組合員とする「協同組合 地盤環境技術研究センター（GETReC）」および不動産鑑定士事務所の出資により設立された企業であり、土壤・地下水汚染をはじめとした環境関連業務を専門としている。同社は通常の土壤汚染業務のほか、不動産取引に関連したデューデリジェンス（不動産取引時の評価作業）も多く実施しており、その一環として、アスベストの問題も多く取り扱っている。

出向以前の私自身の業務経験は、土質調査や斜面関係などの地質調査が中心であった。地質調査の知識は、土壤汚染問題を考える上で、大きな要素の一つであり、その経験は生かせるのではないかと自負していた。また、土壤汚染を含めた環境部門にも興味を持って、ある程度情報収集をしていたつもりであった。しかし、土壤・地下水汚染業務への戸惑いよりも、民間市場と公共事業との感覚のギャップが一番大きなものであった。今までの地質調査業務は公共事業が主体であったが、アース社の土壤汚染業務は、民間市場のみを対象としている。その民間ビジネスと公共ビジネスの差は大きく、異次元の世界に迷い込んだように感じた。

アース社には、私と同じ地質系出身の技術者や環境コンサルタントも多く在籍していたが、不動産鑑定士や民間の不動産事情に精通した社員も在籍していた。むしろ不動産業界に根幹を置いており、そのビジネスの取り組みは、公共地質調査業界のあり方と大きく異なり、大変勉強になった。土地に汚染があれば、対策するという土木的な考え方は、今までの地質調査業務の中で、軟弱地盤や地すべりに

遭遇した際に対応した考え方と同じである。しかし、不動産鑑定の方では、汚染リスクの有無で不動産の評価が変化するという点で、私の今までの経験にはないものであった。また、顧客の中には、外資系の企業も多く、日本の土壤汚染対策法の考え方とは別に、ASTM（米国材料試験協会）環境アセスメント規格の考え方に基づくリスク管理を求められるケースも多かったことで、幅広い経験をすることができた。当然、顧客とのやりとりの資料の一部は英語であり、机の背後で英会話が飛び交う職場環境は、学生時代の英語の不勉強さを反省した。

この不動産業界を主体とした土壤汚染の業務は、通常の土壤汚染ばかりでなく、アスベストも大きな不動産リスクの評価対象になる部分であった。アスベストについては、日本国内では昨年（平成17年）夏以降、いわゆるアスベストパニックと呼ばれる社会問題が浮上した。現在、当初のアスベストパニックは一段落しているものの、アスベストの依頼案件は確実に増えている傾向にある。アスベスト調査業務も経験して、不動産評価に直接結びつく項目であるという点では、土壤汚染問題と非常に類似していると感じた。今なお、アスベストが多くの建築物に存在している点を考えると、土壤汚染より、ある意味で我々にとってより身近な問題であると感じている。

現在、私は、エイトコンサルタントで、土壤汚染関連の業務に携わっている。

土壤汚染業務は、現場ごとの条件や汚染物質の特性によりさまざまな対応が必要となる。そのような場合は、マニュアルに乗っ取った画一的な手法が唯一の解決法とは限らない。そういった意味でも、アース社で得た幅広い知識と経験を生かし、土壤汚染業務やアスベスト関連業務に携わっていきたいと考えている。

公共地質調査業界から異次元の不動産業界の民間土壤汚染分野を経験したが、基本的には、これまでの地質調査の知識と経験の重要度を再認識したように思う。ビジネススタイルは異なるものの、顧客を満足させるために汗を流す点と、技術力に裏打ちされた対応、すばやい対応と工夫がいること、顧客との信頼関係が重要であることは、まったく同じである。

* (株)エイトコンサルタント 技術本部 プロジェクト部

残念ながら公共事業という銀河系は膨張過程から収縮過程に入り、今なお収縮し続けている。また、その銀河からはじき出されそうな惑星が増えているという事実もある。土壤汚染という銀河系は、広く環境という大銀河の末端にありながら、地質調査業界という惑星群を巻き込んで、膨張過程にある。この銀河もやがてビックバンが起こり、収縮に転じるかどうかは不明ではあるが、宇宙は基本的には膨張していると考えれば、銀河系を超えて、宇宙の旅に出るパワーが今こそ必要ではないか、と考える。その旅の出発点として、アース社での異次元の世界を経験できたこと

は、貴重な経験であった。

エイトコンサルタントでは、現在、土壤汚染関連業務～環境分野に対しても、さまざまな角度から取り組んでおり、銀河系を超える旅に出ようとしている。土壤汚染関連では、資料調査のフェイズ1、VOCや重金属調査のフェイズ2、その対策のフェイズ3、さらにアスベスト調査、対策など、多くの課題が残されており、その技術進歩は日々、新たになっていくと考えられる。民間市場の貴重な職場経験を生かし、これまで以上に、技術力の向上や技術営業の研鑽に努めたいと考えている。

海面下の琉球石灰岩における 平板載荷試験と標準貫入試験

くに よし しん こう
国 吉 真 孝*

1. まえがき

本業務は、入社して5～6年目に体験した橋脚部の平板載荷試験と標準貫入試験である。因みに対象となった地盤は、南西諸島に広く分布する琉球石灰岩であるが、当地では海面下に出現しているのがほとんどである。

琉球石灰岩は一般的に層相が不均質で N 値のばらつきが大きいのが特徴的で、そのため特に砂礫部においては、乱さない試料のサンプリングが難しいため、力学特性がほとんど知られていないのが現状である。本報告は、橋梁の下部工工事に伴って、直接基礎の設計条件に適合した支持力を有する地盤であるか否かを検証するために、橋脚部 (P3, P5) において平板載荷試験と標準貫入試験を実施した。以下にその事例を紹介する。

2. 試験概要

2.1 試験位置

試験の場所は建設工事中の P3, P5 橋脚であり、ともに海上部の仮締切の中である。また、試験の深さは図1, 2に示すとおりである。なお、標準貫入試験は平板載荷試験後に実施した。

2.2 試験地盤状況

観察結果より載荷面付近の琉球石灰岩は、全体として乳白色～乳黄色を呈し岩盤に近い状態で軽く固結している状態が多いが、部分的には茶褐色を呈して砂礫状を成しているのも見られる。乳白色を呈する部分は概して岩盤状を成し軽く固結しているものの、タガネとハンマーで容易に削ることができる(一部には、かなり堅いものもある)。茶褐色を呈する部分は概して砂礫状を成している。この部分は粘土分が混じるのが見られ、掘削されたためかなりゆるい状態にある。中には、地下水の流出によって粘土分が流され、結果的に砂礫まで崩れる所もある。この茶褐色を呈する部分は礫または塊となっても固結の程度は非常に弱く、タガネとハンマーで非常に簡単に割ることができるほ

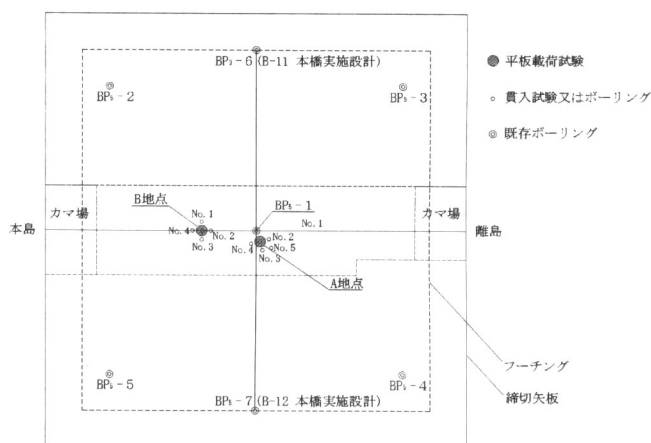


図1 P5橋脚 試験箇所位置図

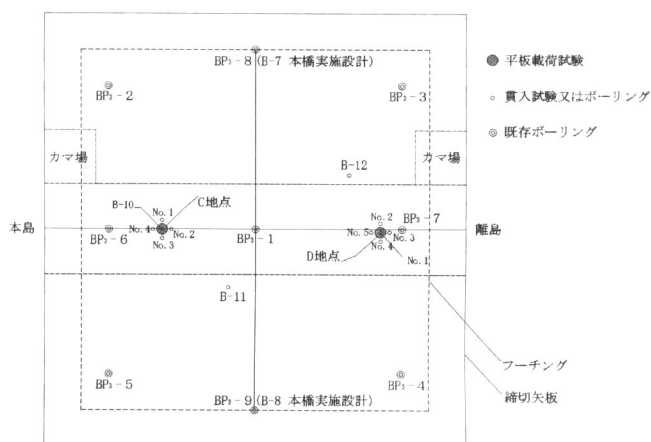


図2 P3橋脚 試験箇所位置図

どである。また乳黄色を呈する部分は前述の乳白色を呈する部分と茶褐色を呈する部分の中間的なもので、岩盤状をなしていても比較的固結の程度は弱いかもしれない、岩塊状になりやすいようである。

以上の観点から試験地点は、固結度の弱い茶褐色～乳黄色を呈する部分を選んで決定した。

2.3 地下水の状況

試験地点は海面下であり、締切矢板の中の大型ポンプによって排水しながらの作業である。しかも地盤が琉球石灰

* (株)大富建設コンサルタント

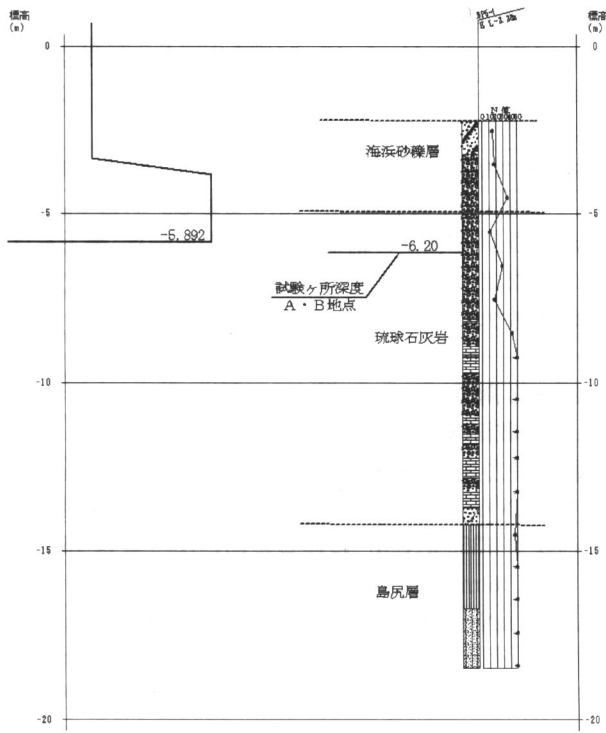


図3 試験箇所深度図 P5 A・B地点

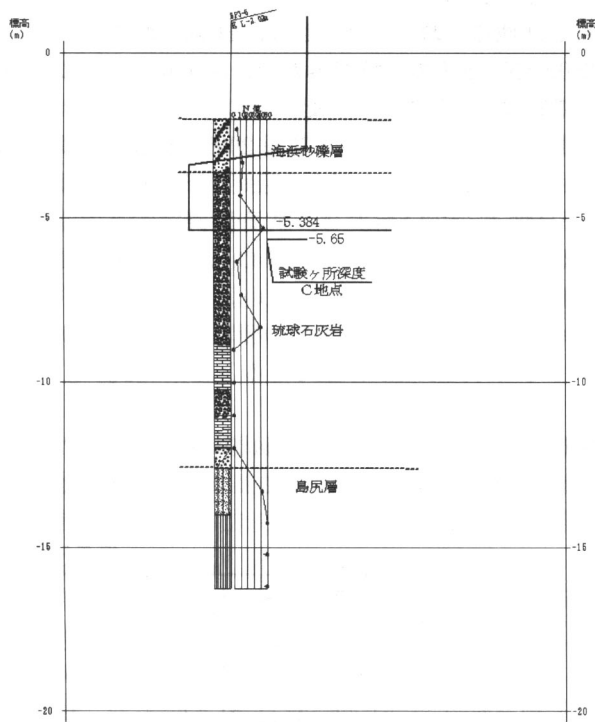


図4 試験箇所深度図 P3 C・D地点



写真1 荷荷面の地盤状況



写真2 平板荷荷試験

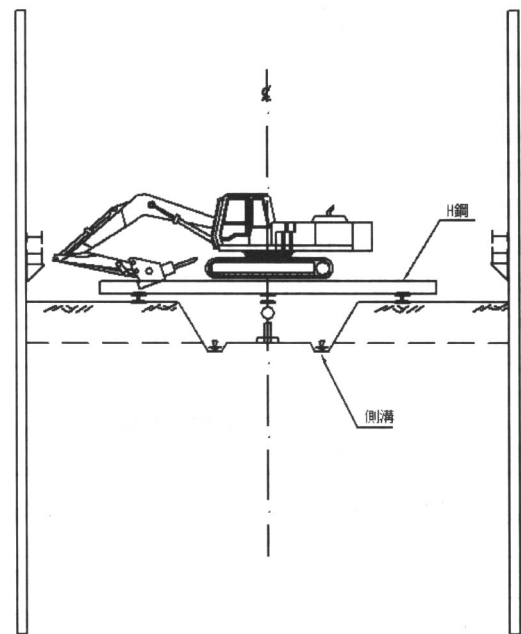


図5 荷荷装置側面図

岩で透水性が良いため、いたる所から地下水の湧出が見られた。そのため写真に示すように両サイドに側溝を造り、常に排水を促しながら試験を実施した(写真1)。

2.4 荷荷試験の方法

荷荷装置は図5に示すようにH型鋼とバックホウを利用して行い、荷荷方法は地盤工学会「地盤の平板荷荷試験方法」に基づいて実施した(写真2)。

3. 試験結果

3.1 P5 橋脚

① 平板荷荷試験

設計支持力 300 kN/m^2 (N 値 30) であることから最大荷重を 900 kN/m^2 と設定した。その試験結果は $\log P-S$ 曲線に示してある(図6)。図より P5 橋脚の A 地点においては、荷重が 900 kN/m^2 に達した時、沈下量は 6.91 mm と

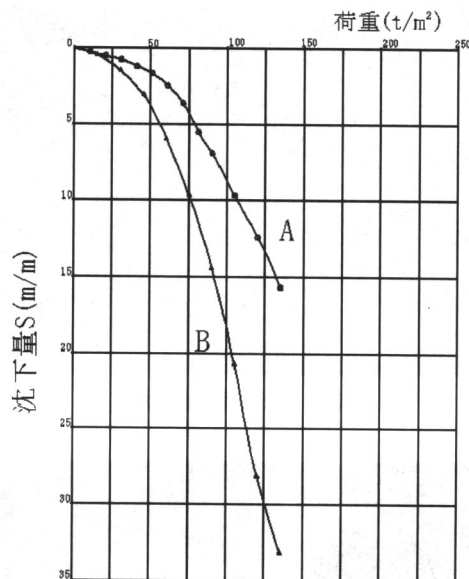


図6 log P-S 曲線

小さく、破壊している様子も見られなかったので最大荷重を 1350 kN/m² まで上げてみた。その結果、沈下量は 15.7 mm に達したが破壊には至らなかった。

続く B 地点においては、最大荷重を 1350 kN/m² とし、荷重ピッチを変更して実施した。その結果 1350 kN/m² の時の沈下量は、33.16 mm に達し、載荷板周辺の地盤の一部に亀裂が発生したが破壊までには至らなかった。

また、試験最大荷重 1350 kN/m² に対する最終沈下量 (A 地点：15.7 mm, B 地点：33.16 mm) は、載荷板直径の 5.2% および 11.1% 程度で、しかも log P-S 曲線の状況もまだ多少の荷重増加に対する保持能力も認められると判断される。このことより直径 30 cm の載荷板に対する試験地盤の極限支持力は、1350 kN/m² 以上はあると思われる。

② 標準貫入試験

標準貫入試験は、A, B それぞれの地点で実施した。試験方法は琉球石灰岩の不均質性を考慮して、それぞれの地点において載荷板の中心およびそれぞれから十字型に 25 cm 離れた地点において地表面の標準貫入試験を実施した。そ

表1 標準貫入試験

○平板載荷試験箇所 P5 橋脚

地点	No.	深度 (GL-m) (載荷面より)	N 値 回/ 30 cm	10 cm ごとの回数			備考	平均 N 値
				10 cm	20 cm	30 cm		
A 地点	B-1	0.23~0.53	29	7	10	12	既存	20.8 (32.4) *() は No.5 も考 慮に入れ た場合
	No. 1	0.15~0.45	8	3	3	2	載荷板中心	
	No. 2	0.15~0.45	12	4	5	3		
	No. 3	0.15~0.45	34	11	14	9		
	No. 4	0.15~0.45	21	3	8	10		
B 地点	No. 5	0.15~0.45	58	8	23	27	岩盤状に見える	12.8 (7.8) *() は No.4 を除 いた場合
	B-8	0.15~0.45	7	1	3	3	載荷板中心	
	No. 1	0.15~0.45	5	1	1	3		
	No. 2	0.15~0.45	10	2	4	4		
	No. 3	0.15~0.45	9	2	3	4		
	No. 4	0.15~0.45	33	2	12	19		

これらの結果は表 1 に示すとおりである。表を見ると A 地点においてそれぞれ N=8, 12, 34, 21 を示し、既存の BP 5-1 は N=29 を示している。それらの平均値は N=20.8 である。

また、B 地点においてはそれぞれ N=7, 5, 10, 9, 33 を示し、それらの平均値は N=12.8 である。

これらの N 値測定の結果より琉球石灰岩は、表 1 を見ても明らかなようにわずか 25 cm 離れた地点でも大きなばらつきがあり、不均質であることがわかった。

3.2 P3 橋脚

① 平板載荷試験

設計支持力 300 kN/m² (N 値 30) であることから最大荷重を 900 kN/m² と予定したが、P5 橋脚の A, B 地点において荷重が 1350 kN/m² に達した時、沈下量は 15.7 mm および 33.16 mm に達したが破壊には至らなかったことから、300 kN/m² リングを用意して荷重を増やすことにした。なお、荷重を増やす手段として大型のバックホウの設置を考えたが、締切内が狭いため、H 鋼の数を増やして荷重を大きくして実施した。その結果、C 地点においては最大荷重 2000 kN/m² に達した時沈下量は 31.26 mm に達したが破壊までには至らなかった。

続く D 地点においては、さらに H 鋼を増やして最大荷重 2400 kN/m² まで上げてみたが、沈下量はわずかに 9.4 mm で破壊には至らなかった。

以上のことより試験最大荷重 2000 kN/m² (C 地点)、2400 kN/m² (D 地点) に対する最終沈下量 (C 地点：31.26 mm, D 地点：9.4 mm) は、載荷板直径の 3.1% および 10.4% 程度であった。しかも図 7 の log P-S 曲線の状況もまだ地盤が破壊に到達していない。このことより直径 30 cm の載荷板に対する試験地盤の極限支持力は、2000 kN/m² および 2400 kN/m² 以上であると思われる。

② 標準貫入試験

標準貫入試験は、C, D それぞれの地点で実施した。試験方法は P5 橋脚と同様とした。それらの結果は表 2 に示す

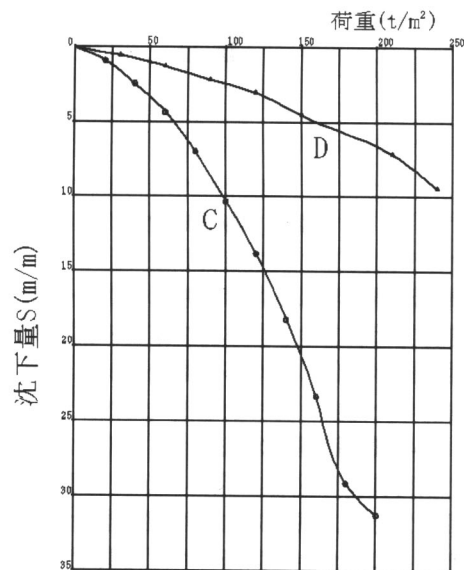


図7 log P-S 曲線

表2 標準貫入試験結果

○平板載荷試験箇所 P3 橋脚

地点	No.	深度(GL-m) (載荷面より)	N 値 回/30 cm	10 cm ごとの回数			備考	平均 N 値
				10 cm	20 cm	30 cm		
C 地点	B-10	0.15~0.45	8	3	2	3	載荷板中心	5 m 掘進 13.8
	No. 1	0.15~0.45	20	5	6	9		
	No. 2	0.15~0.45	8	2	2	4		
	No. 3	0.15~0.45	17	4	7	6		
	No. 4	0.15~0.45	16	5	6	5		
D 地点	No. 7	0.46~0.76	18	6	6	6	既存	26.6
	No. 1	0.15~0.45	24	5	6	13	載荷板中心	
	No. 2	0.15~0.45	25	7	8	10		
	No. 3	0.15~0.45	14	4	5	5		
	No. 4	0.15~0.45	42	6	14	22		
	No. 5	0.15~0.45	28	9	10	9		
B-11		0 m	54	16	19	19		
B-11		1 m	50/15	25	25/5			
B-12		0 m	50/16	50				
B-12		1 m	39	17	9	13		

とおりである。表を見ると C 地点においてそれぞれ $N=8, 20, 8, 17, 16$ を示し、それらの平均値は $N=13.8$ である。一方 B 地点においてはそれぞれ $N=24, 25, 14, 42, 28$ を示し、さらに既存の BP 3-7 の $N=18$ を加えると、それらの平均値は $N=26.6$ である。

これらの N 値測定の結果より琉球石灰岩は、表 2 より $N>50$ は見られないものの、 $N=8\sim 42$ とばらついているのが見られた。

4. まとめ

P5, P3 橋脚は、琉球石灰岩の N 値 30 以上を示す層を支持地盤とし、設計支持力 (常時) 300 kN/m^2 で直接基礎として設計されたが、部分的に N 値 30 以下を示す箇所が見られた。そのため N 値 30 以下の部分がどの程度の支持力を有しているか (設計支持力以上あるかどうか) を確認する目的で、平板載荷試験と標準貫入試験を実施してきた。

その結果はこれまで述べたとおり、

A 地点; $\bar{N}=20.8, q=1350 \text{ kN/m}^2$ 以上, $s=15.7 \text{ mm}$

B 地点; $\bar{N}=12.8, q=1350 \text{ kN/m}^2$ 以上, $s=33.16 \text{ mm}$

C 地点; $\bar{N}=13.8, q=2000 \text{ kN/m}^2$ 以上, $s=31.26 \text{ mm}$

D 地点; $\bar{N}=26.6, q=2400 \text{ kN/m}^2$ 以上, $s=9.40 \text{ mm}$
という結果であった。したがって許容支持力としても 450

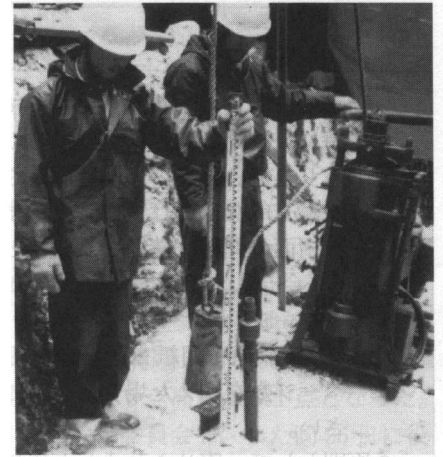


写真3 標準貫入試験

kN/m^2 以上あるものと思われ、設計支持力 (300 kN/m^2) を満足することがわかった。

琉球石灰岩の N 値は、これまでも大きなばらつきが確認されており、非常に不均質な地層であることはわかっていたが、今回 25 cm 間隔で実施した結果においても、A 地点で $N=8\sim 38$, B 地点で $N=5\sim 33$, C 地点で $N=8\sim 20$, D 地点で $N=14\sim 42$

とそれぞれ大きなばらつきが確認されており、琉球石灰岩がいかに複雑であるかを再確認させられる結果となった。

5. あとがき

琉球石灰岩について平板載荷試験と標準貫入試験を通して力学特性の把握に努めてきた。しかしながら、琉球石灰岩は層相の変化が激しく N 値の解明はおろか、試験の場所選定にさえ苦勞する次第であった。

建設コンサルタントに入社して 25 年以上経つが、浅学非才のせいかわらずほとんど進展していないのが現状である。

唯一入社した頃の頃に琉球石灰岩において、平板載荷試験と標準貫入試験が同時に実施されたことは、貴重な体験であったといえる。しかも海面下における原位置試験は、その後体験していないことからすると、滅多にないチャンスだったかも知れない。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤の平板載荷試験方法・同解説。
- 2) 地盤工学会：地盤調査法。
- 3) 第一回沖縄土質工学研究発表会：琉球石灰岩 (砂礫) における平板載荷試験と N 値。