

標準貫入試験の在り方WG

WG活動取り纏め

令和5年8月

現場環境改善委員会
標準貫入試験の在り方WG

まえがき

(一社)全国地質調査業協会連合会における標準貫入試験の在り方ワーキングは、現場環境改善委員会(外部委員会:委員長 永野正展高知工科大学名誉教授)の「地質調査業の将来ビジョン」の作成中に、掲げられた将来にむけた諸施策を実現する委員会として、2021年度より常設の「現場環境改善委員会」の下に置かれた3つのワーキングのなかの一つである。

一方、本ワーキングに先んじて一般社団法人関東地質調査業協会では、技術委員会により2021年10月「我が国における標準貫入試験の利用実態と留意点～歴史背景とサウンディングとの関係を含めて～」が取りまとめられ発刊されている。

本報告は、これらの活動を参考として関東地域在住の技術者に集まっていたいで2年にわたり10回のワーキングを実施し、標準貫入試験の在り方について議論してきたことを取りまとめたものである。

本報告内容は、主に以下の4点について整理している。

- 1) 標準貫入試験、 N 値のレビュー
- 2) 換算 N 値の有効性について
- 3) 標準貫入試験に代わる新たな試験手法の提案
- 4) 標準貫入試験のあるべき姿

本報告の中には、ワーキングで実施した関東、関西、北陸、四国の4地域におけるボーリング機長・助手への現場環境に関するアンケート結果が含まれている。全地連の調査により明らかとなった従事者数が減少傾向にあるボーリング機長ならびに助手へのアンケートによる声はまさに現場そのものの叫びであり、環境改善として至急望まれていることである。

さらにこれまで懸念事項であった、別孔によるサンプリングや原位置試験についての発注実態を調査し、地質調査としてどのように掘削することが適切なのか、発注の流れを含めてあらためて提案することとした。

標準貫入試験は、高度成長時代とともに構造物基礎の簡易な調査法として広く定着してきた。そして、試験により得られた N 値が様々な物性値として換算代用できる万能な調査として全国展開されてきた潮流は、急激に変更できる状況にはない。デジタル時代の発展とともに、年々減少するボーリング機長は、標準貫入試験の万能主義によりサンプリングや原位置試験を実施する機会が奪われて技術力そのものが低下している実態と、実施可能な人材が大きく減少してきている実態は地質調査の危機と言わざるを得ない。適正なボーリング調査、正確なサンプリング、原位置試験等を試みないことには、地盤リスクや時には地盤災害として人々に大きな損失をもたらすことを意識していかないといけない。サステナビリティが叫ばれる今、調査の概念を変えるべき時がきており、この活動を機会として標準貫入試験の位置づけを改めていくことが重要であると考えられる。

目 次

1. これまでの標準貫入試験.....	1
1.1 標準貫入試験の歴史.....	1
1.1.1 試験器開発の歴史.....	1
1.1.2 日本での試験器開発と試験器導入.....	2
1.2 規格・基準等への記載の変遷及び設計分野における N 値の利用.....	4
1.2.1 規格・基準等への記載の変遷について.....	4
1.2.2 設計分野における N 値の利用.....	5
1.2.3 換算式の発展による室内試験試料採取数の減少.....	9
<引用・参考文献>.....	10
2 標準貫入試験を標準とした地質調査の課題.....	11
2.1 標準貫入試験による強度評価の課題.....	11
2.1.1 N 値によるせん断抵抗角の推定.....	11
2.1.2 N 値による粘着力の推定による誤差.....	15
2.1.3 N 値による変形係数の推定による誤差.....	18
2.2 水平方向での地盤と N 値の変化.....	22
2.2.1 近接地点で測定した N 値のばらつき.....	22
2.2.2 地盤の不均質性による N 値のばらつき.....	23
2.3 掘削方法と標準貫入試験による地質試料観察上の課題.....	27
2.3.1 標準貫入試験による地質試料観察上の課題.....	27
2.3.2 標準貫入試験に伴う地層の見逃し.....	28
2.4 まとめ.....	31
<引用・参考文献>.....	32
3 地質調査発注タイプ毎の傾向.....	33
3.1 近年の発注段階における調査仕様の傾向.....	33
3.2 事業レベルと調査仕様の組合せ（案）.....	37
4 試験深度の違いによる作業能力実態調査.....	39
4.1 積算基準上の深度補正の実態.....	39
4.1.1 受注者の立場.....	39
4.1.2 発注者の立場（国土交通省・旧建設省）.....	40
4.1.3 発注者の立場（国土交通省・旧運輸省）.....	41
4.1.4 整理結果のまとめ.....	42
4.2 試験深度の違いによる昇降時間への影響.....	42
4.2.1 整理結果.....	43
4.2.2 試験深度と昇降時間の相関に関する分析.....	47
4.3 まとめ.....	49
<引用・参考文献>.....	49
5 アンケート実施について.....	50

5.1 アンケート実施内容・項目	50
5.1.1 アンケート実施方法	50
5.2 アンケート結果	51
5.2.1 協会拠点・立場・年齢・専門別・性別・経験年数	51
5.2.2 現場作業で大変なこと	56
5.2.3 現場で危険と感ずること	57
5.2.4 作業中の雰囲気や雇用環境で思うこと	59
5.2.5 将来どう言うことをしたいか	61
5.2.6 ボーリング調査で一番大変なこと	62
5.2.7 地質調査作業において望むこと	62
5.3 アンケート結果のまとめ	63
6 標準貫入試験に代わる自動貫入試験の可能性と土質地盤の調査法の在り方	65
6.1 何故、ボーリングマシンの技術革新が起こらないか	65
6.2 標準貫入試験に代わる自動貫入試験の可能性（孔内打撃 SPT 等）	66
6.3 土質地盤の地盤調査法の在り方	67
6.4 まとめ	69
<引用・参考文献>	69
7 デジタル時代の標準貫入試験の在り方	70
標準貫入試験の在り方WGメンバー一覧	72

1. これまでの標準貫入試験

1.1 標準貫入試験の歴史

1.1.1 試験器開発の歴史

地盤調査としてのボーリングは、およそ 170 年前からアメリカで行われていた¹⁾とされる。当時はウォッシュボーリングという調査手法が主流で、その孔底にパイプを地中に打ち込んで土を採取し、深い位置の自然の土を目視観察することを 1902 年（明治 35 年）にアメリカの陸軍大佐 Charles R. Gow が考えたといわれている。Gow が用いたサンプラーは直径 1 インチ（2.5cm）のパイプで、土質試料を採取するサンプラーの名称については、孔底の土をさらうという意味を持つ”スプーン”という呼称が付加され、スプーンサンプラーと呼ばれていた。

この後、Gow は会社を設立し Gow 社の New England 支社長であった Harry A Mohr は、1927 年（昭和 2 年）に径 2 インチ（5cm）のスプリットスプーンサンプラーを製作し、140 ポンド（63.5kg）のハンマーを高さ 30 インチ（75cm）から自由落下させて土を採取する基準を創った。そして、サンプラーが 12 インチ（30cm）貫入するに要する打撃回数を測定した。この測定方法が、後に標準貫入試験の原型となった。

Gow 社の親会社である Raymond Concrete Pile 社も、いわゆるレイモンドサンプラーを製作し（図-1.1.1-1 参照）、サンプラーが孔底に達してから 6 インチ（15cm）の予備打ちをしてから Mohr の方法による貫入試験を実施することを 1920 年代後半から 1930 年代初頭にかけて試みた。これが“標準貫入試験”と呼ばれる原位置試験の誕生とされる。

さらに、1947 年の後半には Terzaghi は 2 インチのスプーンサンプラーを用いた打撃貫入試験を“Standard Penetration Test（標準貫入試験）”と称し、テキサス大学で開催された第 7 回地盤工学と基礎工学会議において「地盤調査の最近の傾向」と題して発表を行っている。

表- 1.1.1-1 標準貫入試験の主な年表

項目	西暦	1900	20	30	40	50	60	70	80	90	2000	10	20
社会情勢		1929世界恐慌 1945第二次世界大戦終結 1954-73高度経済成長 1986-91バブル期 2011東日本大震災											
アメリカでの開発		1902頃 Charles R. Gowが打ち込みパイプ式のサンプラーを開発 1922頃 杭メーカーが銅製チューブの押し込みサンプラーを開発 1927 現在に近い形（二つ割れのサンプラーと打撃回数の記録）に改良 1930 Harry Mohrによって標準化 1947 Terzaghiが論文発表 1948 Terzaghi-Peckが 書籍『Soil Mechanics in Engineering Practice』で紹介 広く認知される											
日本国内での動き		1951 中央開発が国内で初めて導入 1952 国鉄技研が高架橋の地質調査に導入 1953 森博氏が「土と基礎」創刊号で紹介 1959 サウンディング研究委員会設立											
基準化		1961 JIS A 1219としてJIS規格を制定 1967 JIS改正 2001 JIS改正 2005 ISOで承認 2013 JIS改正											

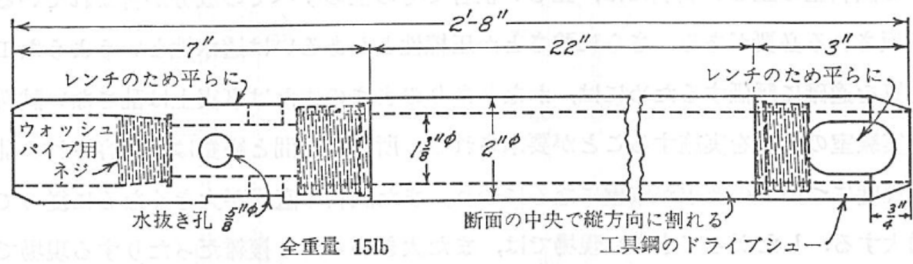


図- 1.1.1-1 Raymond Concrete Pile 社のレイモンドサンプラーの構造図²⁾

1.1.2 日本での試験器開発と試験器導入

我が国で初めて自然の土を採取する技術は、1923年（大正12年）に西尾銈次郎が開発した西尾式サンプラー³⁾とされる。これは、Mohr がスプリットサンプラーを製作して貫入試験方法を考案した年より4年ほど早い。このサンプラーはスプリットスプーンサンプラーとよく似た形状となっており、錘を落下させて打撃した際の貫入量から地盤の硬さを評価する手法も取り入れており、標準貫入試験に近い試験形態となっている。

西尾式サンプラーは、東京都内のいくつかの現場で使われていたが、スタンダードな地質調査手法としては定着しなかった。

一方、アメリカで開発された標準貫入試験が我が国に初めて導入されたのは、1951年（昭和26年）頃であり、森博氏（中央開発株式会社（当時））によるものである。1952年（昭和27年）には、有楽町～新橋駅間高架橋の地質調査において、標準貫入試験が国鉄技研によって初採用されている⁴⁾。

その後、1953年（昭和28年）には『土と基礎』の創刊号で森博氏によって標準貫入試験が紹介され⁵⁾、1961年（昭和36年）12月には、JIS規格においてJIS A 1219「土の標準貫入試験方法」として制定された。これにより、標準貫入試験は全国に広まり、ボーリング調査では必要不可欠な原位置試験として定着することになった。

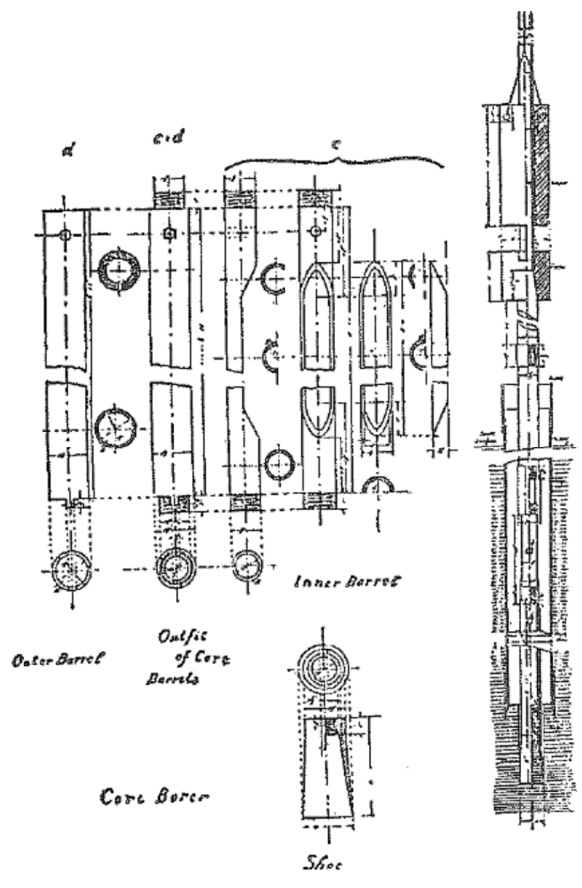
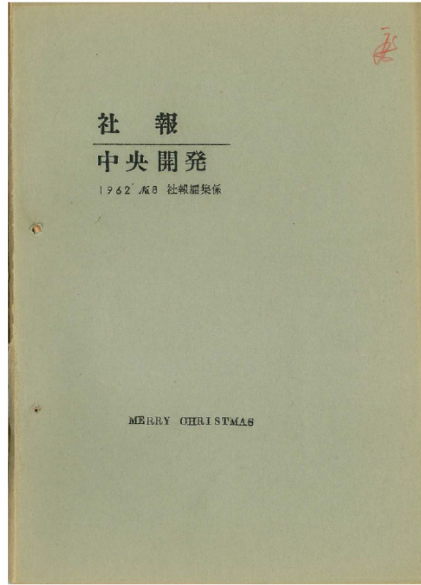


図- 1.1.2-1 西尾式サンプラー³⁾



1. 標準貫入試験

現在行われている原位置試験法としては最も多く適用されている工法で、ボーリングと云えば標準貫入試験を含むことは一般化されて来ました。

この工法をボーリングに併用したのは我国に於いては当社が最初だろうと思います。昭和27年には有楽町へ新橋間高架橋で国鉄技研の■■■■さん■■■■さん等と一緒に試験をした記憶が有ります。

試験方法は外径51mm、内径35mm、長さ810mm、重さ6.8kgの二つ割スプーン型試験器を重量63.5kg落下高76cmより地中に30cmだけハンマーで打込むに要する打撃数Nによって、対象土の剪断強度を測定するもので、これは米国のレイモントコンクリートパイル会社によって考案され、テルツァギー及びベックによって理論づけられ国際的に通用する試験法となつた。

図- 1.1.2-2 社報 中央開発、1962 の抜粋⁴⁾



(c) 標準スプーンサンプラー (図-2)

(Standard Spoon Sampler, A. S. T. M.)

此のサンプラーは駐日米軍建設局の依頼によつて駐留軍基地の基礎調査に使用したもので試料の採取径は4吋である。構造はドライサンプラーに似ているがサンプル

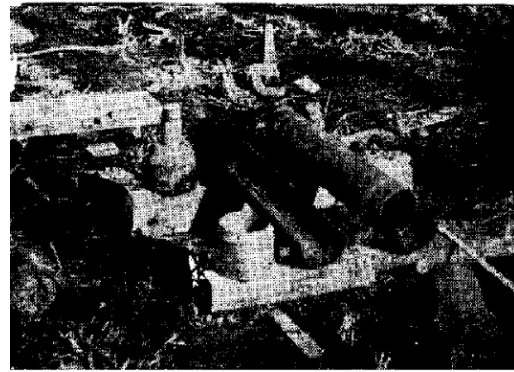


図-2.

チューブが縦に二つに割れるのが特徴である。試料は真鍮ライナーに入つたまま、両端をパラフィンで密封して実験室に輸送する。之もドライサンプラーと同じく軟い粘土の不擾乱試料採取には適しないが、中位以上の硬い粘土及ロームには良い結果が得られる。

図- 1.1.2-3 森博氏による標準貫入試験の紹介⁵⁾

1.2 規格・基準等への記載の変遷及び設計分野における N 値の利用

1.2.1 規格・基準等への記載の変遷について

標準貫入試験は、1951年に日本に導入された後、1961年に JIS 規格（JIS A 1219）に規定され、1963年に土質工学会（現地盤工学会）の土質調査法に基準化された。その後、この基準内容（地盤調査法、地盤調査の方法と解説）が改訂される毎に、JIS 規格も変更している。規格及び基準の変遷は調査方法の仕様を変化させ、国際標準に沿った内容に変わってきている。

JIS 規格と学会基準の変遷を表- 1.2.1-1 にまとめる。

表- 1.2.1-1 JIS 規格と学会基準の変遷

JIS 規格	地盤工学会	規格基準概要及び変更概要
JIS A 1219 (1961)	①土質調査法 1963	JIS 規格初めての規定 JIS 規定の目的: 様々な様式の試験器具が出回り測定結果に差があり、同一基準で判断比較できなくなることに、標準の意味が失われることを避けるために規定 試験手法についてはトンビ、コーンプーリーどちらでも可と記載
JIS A 1219 (1995)	②地盤調査法 1995	前回基準との変更内容: 1992年 計量法の改正により SI 単位への移行された 基本的な変更はない
JIS A 1219 (2001)	③地盤調査の方法と解説 2001	前回基準との変更内容: 1999年に SI 単位全面移行と国際標準に合わせて改正。試験装置及び器具の種類、材質寸法の改正、許容誤差の改正。打撃方法、記録方法の改正。JIS に基づく表記、用語の改正
JIS A 1219 (2013)	④地盤調査の方法と解説 2013	前回基準との変更内容: 国際規格として規定され、JIS と ISO を整合させた。設計に使用可能なものと、そうでないものを規定。 ・落下方法によって設計に用いる N 値と用いない N 値がある (自動、半自動落下: 利用可 コーンプーリー等: 利用不可) ・礫、軟岩ではソリッドコーンの使用が可能となる ・試験装置の誤さを除くための使用前後における点検と詳細な報告

1.2.2 設計分野における N 値の利用

設計分野における N 値の利用は、重要な指標値として扱われることがある。

この利用状況の特徴を以下にまとめ、表- 1.2.2-1～表- 1.2.2-3 に利用文献を整理した。

- (1) 支持層としての評価、ならびに、杭基礎の支持力計算のように地中の深い位置における土質を評価する際には、どの設計分野においても N 値での評価がよく利用されている。
- (2) N 値を地盤の締めり具合や硬軟を示す指標として利用し、それに伴って土質性状に応じた単位体積重量・粘着力・せん断抵抗角といった物性値の目安値を設定するといった手法が多く活用されている。
- (3) 軟弱な粘性土における一軸圧縮強さ q_u は N 値からの推定式が示される図書が数多く存在する一方で、室内土質試験による一軸圧縮強さ q_u からの設定を推奨する図書も存在する。
- (4) サンプルングや室内土質試験の適用が難しい砂や砂礫のせん断抵抗角の設定については、 N 値がよく利用されている。
- (5) 液状化判定においては、地盤を評価する上で N 値が重要な指標となっている。

N 値は、当初杭打ち等の基礎工事において支持層を評価するための指標であったが、現在では、上記及び表- 1.2.2-1～表- 1.2.2-3 にまとめたように様々な換算式が経験的な結果等の統計から示されているものが多い。これらを利用して土質定数が求められ、設計における便利な指標になっている。

しかしながら、 N 値は土質や土粒子の大きさや試験深度等複雑な要素が絡み合って出された結果であることを考慮すると、換算式を利用することは十分注意が必要である。

設計分野においては、これらの N 値を利用した地盤定数を求めるものも多くあるものの、世界標準に倣いユーロコードや性能設計の考え方が取り入れられている指針が出ており、 N 値から簡易的に土質定数が得られるような記載は少なくなっている傾向である。

表- 1.2.2-1 代表的な技術図書におけるN値の利用状況一覧表 (1/3)

分類	発行	図書	版	区分・適用性			土質定数					
				地層の成層状態	軟弱地盤の区分	適用性の目安	単位体積重量 (γ)	粘着力 (C)	一軸圧縮強さ (q_v)	内部摩擦角 (ϕ)	変形係数/地盤反力係数	
道路	日本道路協会	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編	2017.11			p26 p60-64				p536	p188	
道路	日本道路協会	道路橋示方書・同解説 V耐震設計編	2017.11									
道路	日本道路協会	杭基礎設計便覧	2015.4	p65		p444		p82		p85	p89	
道路	日本道路協会	道路土工要綱	2009.6		p58							
道路	日本道路協会	道路土工 盛土工指針	2010.5		p44	p48	p101	p101		p101		
道路	日本道路協会	道路土工 軟弱地盤対策工指針	2012.8		p8	p64			p45			
道路	日本道路協会	道路土工 切土工・斜面安定工指針	2009.7	p127								
道路	日本道路協会	擁壁工指針	2012.7			p38		p64		p64		
道路	日本道路協会	カルバート工指針	2010.4			p39		p72		p73		
道路	日本道路協会	仮設構造物工指針	1999.3			p28		p30		p30	p105	
道路	土木学会	トンネル標準示方書 共通・山岳工法編	2016									
河川	国土交通省 水管理・国土保全局	河川砂防技術基準 調査編	2012.6			第15章第2節-7						
						第15章第3節-31						
						第15章第2節-6						
河川	国土交通省 水管理・国土保全局	河川構造物の耐震性能照査指針 共通編	2012.2									
河川	国土交通省 水管理・国土保全局	河川構造物の耐震性能照査指針 堤防編	2016.3									
河川	国土交通省 水管理・国土保全局	河川堤防の耐震点検マニュアル	2016.3			p13細分化						
						p15代表断面						
						p17土層分類						
河川	国土交通省 砂防部	地すべり防止技術指針	2008.1									
河川	土木研究所	河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント	2014.7					p57	p57			
港湾	日本港湾協会	港湾の施設の技術上の基準・同解説 上巻	2018.5	p302					p337	p334		
建築	国土交通省 営繕部整備課	建築構造設計基準の資料	2018.4					p53	p54	p53	p52 p54	
建築	日本建築学会	建築基礎構造設計指針	2019.11	p27		p25	p30			p30	p32	
建築	日本建築学会	小規模建築物基礎設計指針	2008.8			p32		p40	p40	p39		
建築	日本建築学会	建築基礎設計のための地盤調査計画指針	2009.11					p220		p53	p55	
建築	日本建築学会	建築基礎構造設計のための地盤評価・Q&A	2015.11						p95-97	p97-98	p75-81	
建築	日本建築学会	山留め設計指針	2017.11								p156 p157	
鉄道	鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物	2012.1			p100	p44-93	p95			p94	p99
						p434	p437			p465	p457	
								p478		p478	p518	
鉄道	鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物	2013.9	p19	p19			p489	p489	p59		
鉄道	鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計	2012.9	p64	p53	p24						
鉄道	鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物	2012.1			p13 p14						
道路	NEXCO東・中・西	調査要領	2017.7			p1-79	p1-15	p1-48				
						p5-5						
道路	NEXCO東・中・西	設計要領 第2集 橋梁建設編	2016.8			p4-4		p4-7	p4-10	p4-10	p4-13	
											p4-39	
道路	NEXCO東・中・西	設計要領 第2集 擁壁/カルバート編	2019.7									

表- 1.2.2-2 代表的な技術図書におけるN値の利用状況一覧表 (2/3)

分類	発行	図書	版	判定・評価										
				支持層判定	極限(許容)支持力度	せん断弾性波速度	耐震設計上の基盤	液状化判定	液状化危険度ランク	側方移動	アンカー周面摩擦	土圧		
道路	日本道路協会	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編	2017.11	p177	p239									
道路	日本道路協会	道路橋示方書・同解説 V耐震設計編	2017.11			p69	p70	p162						
道路	日本道路協会	杭基礎設計便覧	2015.4		p193		p95				p305			
道路	日本道路協会	道路土工要綱	2009.6			p353								
道路	日本道路協会	道路土工 盛土工指針	2010.5	p33										
道路	日本道路協会	道路土工 軟弱地盤対策工指針	2012.8					p167						
道路	日本道路協会	道路土工 切土工・斜面安定工指針	2009.7									p295		
道路	日本道路協会	擁壁工指針	2012.7	p37 p69										
道路	日本道路協会	カルバート工指針	2010.4		p75									
道路	日本道路協会	仮設構造物工指針	1999.3		p72							p132	p37	
道路	土木学会	トンネル標準示方書 共通・山岳工法編	2016											
河川	国土交通省 水管理・国土保全局	河川砂防技術基準 調査編	2012.6											
河川	国土交通省 水管理・国土保全局	河川構造物の耐震性能照査指針 共通編	2012.2				p13	p25						
河川	国土交通省 水管理・国土保全局	河川構造物の耐震性能照査指針 堤防編	2016.3							p16				
河川	国土交通省 水管理・国土保全局	河川堤防の耐震点検マニュアル	2016.3											
河川	国土交通省 砂防部	地すべり防止技術指針	2008.1											
河川	土木研究所	河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント	2014.7											
港湾	日本港湾協会	港湾の施設の技術上の基準・同解説 上巻	2018.5			p382		p408						
建築	国土交通省 営繕部整備課	建築構造設計基準の資料	2018.4	p61	p61									
建築	日本建築学会	建築基礎構造設計指針	2019.11	p26	p194-211	p31		p50-53						
建築	日本建築学会	小規模建築物基礎設計指針	2008.8											
建築	日本建築学会	建築基礎設計のための地盤調査計画指針	2009.11	p47	p220	p220		p220						
建築	日本建築学会	建築基礎構造設計のための地盤評価・Q&A	2015.11	p16				p54-59						
建築	日本建築学会	山留め設計指針	2017.11										p87 p93	
鉄道	鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物	2012.1	p48	p268 p270									
鉄道	鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物	2013.9	p17 p82										
鉄道	鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計	2012.9				p36	p56						
鉄道	鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物	2012.1	p13								p342-343	p66	
道路	NEXCO東・中・西	調査要領	2017.7											
道路	NEXCO東・中・西	設計要領 第2集 橋梁建設編	2016.8											
道路	NEXCO東・中・西	設計要領 第2集 擁壁/カルバート編	2019.7		p29									

表- 1.2.2-3 代表的な技術図書におけるN値の利用状況一覧表 (3/3)

分類	発行	図書	版	施工効果・適用性			土質調査 サンプラー の適用
				SCP	バイプロ フロー テーション	モタレ壁	
道路	日本道路協会	道路橋示方書・同解説 IV下部構造編	2017.11				
道路	日本道路協会	道路橋示方書・同解説 V耐震設計編	2017.11				
道路	日本道路協会	杭基礎設計便覧	2015.4				p111
道路	日本道路協会	道路土工要綱	2009.6				
道路	日本道路協会	道路土工 盛土工指針	2010.5				
道路	日本道路協会	道路土工 軟弱地盤対策工指針	2012.8	p274	p288		
道路	日本道路協会	道路土工 切土工・斜面安定工指針	2009.7				
道路	日本道路協会	擁壁工指針	2012.7				
道路	日本道路協会	カルバート工指針	2010.4				
道路	日本道路協会	仮設構造物工指針	1999.3				
道路	土木学会	トンネル標準示方書 共通・山岳工法編	2016				
河川	国土交通省 水管理・国土保全局	河川砂防技術基準 調査編	2012.6				
河川	国土交通省 水管理・国土保全局	河川構造物の耐震性能照査指針 共通編	2012.2				
河川	国土交通省 水管理・国土保全局	河川構造物の耐震性能照査指針 堤防編	2016.3				
河川	国土交通省 水管理・国土保全局	河川堤防の耐震点検マニュアル	2016.3				
河川	国土交通省 砂防部	地すべり防止技術指針	2008.1				
河川	土木研究所	河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント	2014.7				
港湾	日本港湾協会	港湾の施設の技術上の基準・同解説 上巻	2018.5				
建築	国土交通省 営繕部整備課	建築構造設計基準の資料	2018.4				
建築	日本建築学会	建築基礎構造設計指針	2019.11				
建築	日本建築学会	小規模建築物基礎設計指針	2008.8				
建築	日本建築学会	建築基礎設計のための地盤調査計画指針	2009.11				
建築	日本建築学会	建築基礎構造設計のための地盤評価・Q&A	2015.11	p87-88			p29
建築	日本建築学会	山留め設計指針	2017.11				
鉄道	鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物	2012.1				p30 p32
鉄道	鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物	2013.9				p19
鉄道	鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計	2012.9				
鉄道	鉄道総合技術研究所	鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物	2012.1			p270	p14 p15
道路	NEXCO東・中・西	調査要領	2017.7				p1-85 p1-126
道路	NEXCO東・中・西	設計要領 第2集 橋梁建設編	2016.8				
道路	NEXCO東・中・西	設計要領 第2集 擁壁/カルバート編	2019.7				

1.2.3 換算式の発展による室内試験試料採取数の減少

地質調査の成長・発展によって、多くの試験データが蓄積され、経験値的な換算式の考案が進み、各種の論文で多く発表されてきた。これによって地質調査の簡略化が進み、原位置試験及び室内試験に供される試料採取が減少傾向を示しているものと考えられる。

その一例としてボーリング本数及び掘削長に対するの試料採取の割合を示したものを表-1.2.3-1 及び図-1.2.3-1 に示した。

このデータは、ある調査会社の関東地方における 2000 年～2020 年までのボーリング掘削長に対する試料採取した数を比率で示したものである。「試料採取率」の算定については、全調査業務を対象としたものと、試料採取業務のみを対象としたものに分けて示している。

この結果をみると「試料採取率」は、いずれも線形近似曲線を示すグラフからは減少傾向が認められることがわかる。

このことから、地盤定数を把握するための試験が簡略化され、 N 値や経験値によって地盤定数が求められることが多くなってきているのではないかと推察される。

表- 1.2.3-1 2000 年～2020 年までの試料採取率一覧表（関東地域の一部）

年度	全業務対象数量			試料採取業務対象数量		
	全ボーリング掘削長(m)	試験採取数(試料)	全掘削長採取率(試料数/掘削長)	対象ボーリング掘削長(m)	試験採取数(試料)	対象掘削長採取率(試料数/掘削長)
2000	44,980	1,518	0.034	31,640	1,518	0.048
2003	44,732	1,598	0.036	32,950	1,598	0.048
2005	95,893	2,361	0.025	73,213	2,361	0.032
2008	78,320	2,481	0.032	60,415	2,481	0.041
2010	70,399	1,931	0.027	59,498	1,931	0.032
2013	81,279	2,242	0.028	64,482	2,242	0.035
2015	96,755	2,335	0.024	79,782	2,335	0.029
2018	75,295	2,358	0.031	59,893	2,358	0.039
2020	70,349	1,811	0.026	59,090	1,811	0.031

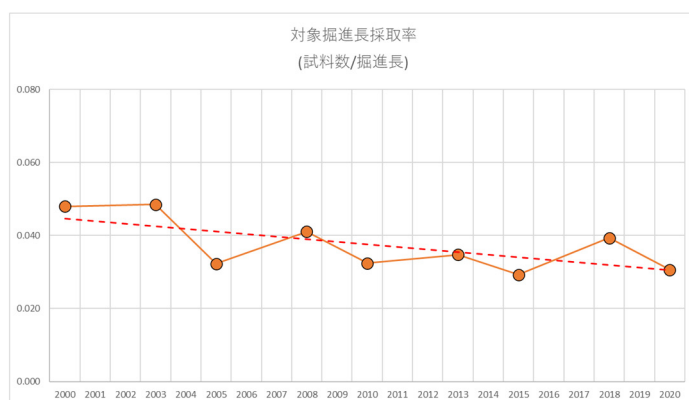
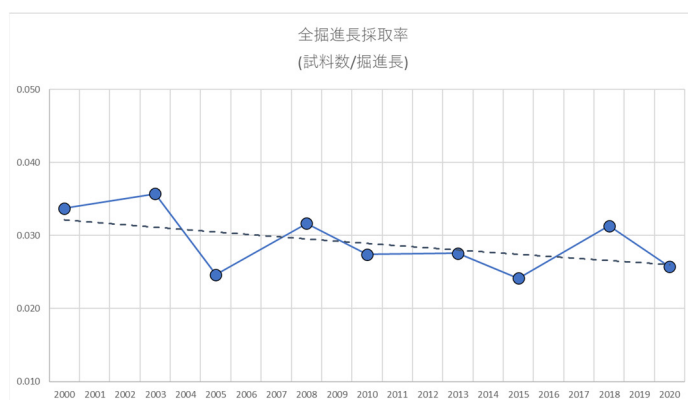


図- 1.2.3-1 2000 年～2020 年までの試料採取率グラフ（関東地域の一部）

<引用・参考文献>

- 1) *N*値の話編集委員会：改訂*N*値の話、理工図書、2004.8、pp.1-14
- 2) 星埜和・加藤渡・三木五三郎・榎並昭共訳：新版テルツァギ・ペック土質力学応用編、丸善株式会社、1970.1、pp.276～303
- 3) 佐藤康平：橋梁工学・基礎の設計及施工、1929.4
- 4) 中央開発：社報 No.8、1962.8、p.21
- 5) 森博：土質調査における新しい二つの試みについて、土と基礎創刊号、1953.2 寄稿、pp.25-31

2 標準貫入試験を標準とした地質調査の課題

標準貫入試験は、地盤の硬・軟、締まり具合の判定や土層把握のための試料採取を目的としているが、設計のための地盤定数として N 値そのものを取り扱うケースも多く、 N 値との相関式より推定した物性値を地盤定数として設定しているケースが認められる。

しかし、 N 値は機材の状態や実施手順等による誤差が含まれる値であり、さらに N 値と各地盤物性値との相関は、経験的な関係から導かれており、相関式には誤差が含まれる。

また、これらの換算式は、標準貫入試験の方法としてコーンプリー法が主体であった時代における推定式である。コーンプリー法は現在主流となっている半自動落下方式に比べ打撃エネルギーのロスや値のバラツキが多く、推定式の利用においては考慮する必要がある。

2.1 標準貫入試験による強度評価の課題

2.1.1 N 値によるせん断抵抗角の推定

N 値によるせん断抵抗角の推定は、研究成果や各指針・基準にて示される相関式が複数あり、これらの代表的な式¹⁾を表-2.1.1-1に示す。

表- 2.1.1-1 N 値によるせん断抵抗角の推定式の代表式一覧

No	せん断抵抗角の推定式	備考
①	$\phi = \sqrt{(12 \times N) + 15}$ (粒子丸, 粒度一様) $\phi = \sqrt{(12 \times N) + 20}$ (粒子丸, 粒度良) $\phi = \sqrt{(12 \times N) + 25}$ (粒子角, 粒度良)	ダナム (Dunham) の式
②	$\phi = 0.3 \times N + 27$	Peck の式
③	$\phi = \sqrt{(20 \times N) + 15}$	大崎の式
④	$\phi_d = (20 N_1)^{0.5} + 20$ ($3.5 \leq N_1 \leq 20$) $\phi_d = 40$ ($N_1 > 20$) $N_1 = N / (\sigma_v' / 100)^{0.5}$	建築基礎構造設計指針 (2019)
⑤	$\phi = 4.8 \log N_1 + 21$ ($N > 5$) log: 自然対数 $N_1 = 170 N / (\sigma_v' + 70)$	道路橋示方書・同解説 下部構造編 (H29.8)
⑥	$\phi = 25 + 3.2 (100 N / (70 + \sigma_v'))^{0.5}$	港湾の施設の技術上の基準・同解説 (H30)
⑦	$\phi = 1.85 (N / (0.01 \sigma_v' + 0.7))^{0.6} + 26$ $\phi = 0.5 N + 24$ (地震時の上限値)	鉄道構造物等設計基準・同解説基礎構造物・抗土圧構造 (H12.6)

※表中の単位、 ϕ : 度, σ_v' : kN/m²

2.1.1.1 各推定式の比較

表- 2.1.1-1 に示した N 値によるせん断抵抗角の推定式の比較結果を以下に示す。

- (1) ①～③式は、相関についての研究初期の式¹⁾であり、推定式に用いる N 値は、有効上載圧を考慮した補正 N 値（以降、補正 N 値）ではない。
- (2) ④～⑦式については N 値と上載圧には相関があることが判明し、上載圧を考慮した補正 N 値を用いた推定式となる。補正 N 値を活用した推定式は、鉄道分野において 1985 年の論文²⁾にて提案されており、港湾分野は 1997 年³⁾・建築分野は 1999 年⁴⁾・道路分野は 2002 年⁵⁾にそれぞれ論文等により提案されている。
- (3) ④⑤式は、補正 N 値と室内試験結果の ϕ_d の関係より推定式を導いている⁴⁾。この室内試験に用いた試料は、凍結サンプリングやチューブサンプリングにより採取され、細粒分含有率 20% 以下の粒度組成が主となる。
- (4) ⑥⑦式は、「相対密度と N 値（補正 N 値）の相関」と「せん断抵抗角 ϕ と相対密度の相関」より相対密度を共通項として、補正 N 値とせん断抵抗角 ϕ の相関式を導いている⁵⁾。

以上より、 N 値（補正 N 値）からせん断抵抗角の推定式には以下の特徴がある。

- ▶ N 値（補正 N 値）と室内試験値 ϕ_d の関係よりある程度のばらつきの中での推定式である。
- ▶ 室内試験値は、凍結サンプリング等の試料を用いているため、細粒分含有率 20% 以下となるような粒度組成が主体であり、限定的な砂質土による結果である。
- ▶ N 値に関する二つの推定式「 N 値—相対密度」「相対密度—せん断抵抗角」を用いて、相対密度を共通項として、間接的に求めた推定式である。

2.1.1.2 各推定式による推定せん断抵抗角の違い

表- 2.1.1-1 に示される推定式による N 値とせん断抵抗角の相関図を図- 2.1.1.2-1 に示す。各推定式による推定値の違いを以下に示す。

- (1) ①ダナム (Dunham) の式は、粒子・粒度の違いで最大で 10° の差が発生する。
- (2) ②～⑦の場合、 N 値 < 5 の範囲で各式による推定値の差が大きく、さらに N 値 $= 20$ 付近で推定値の差が最も大きくなる。

(現行基準の推定式④～⑦について)

- (3) ④式（建築における推定式）は、 $6 \leq N$ 値 ≤ 35 の範囲にて、4 式の中で最も大きい推定値となる。
- (4) ⑤式（道路橋における推定式）では、 N 値 ≤ 6 の範囲にて、 N 値の低下による ϕ の変化が最も大きく、小さい推定値となる。

- (5) ⑥式（港湾における推定式）では、 N 値 ≤ 6 の範囲にて、推定値が最も大きくなる。
- (6) また、 N 値 ≥ 37 の範囲にて、最も大きい推定値となる。
- (7) ⑦式（鉄道における推定式）では、 N 値 > 6 の範囲にて、道路橋における推定式と近似した分布となる。
- (8) N 値 ≥ 5 では、 N 値 $=20$ 付近で、各推定式の差が最も大きくなり、現行基準での比較においては 6° の差が生じる。
- (9) N 値が大きい範囲（ N 値 ≥ 37 ）においては、 N 値の差がほぼ一定となる。

以上より、推定式により N 値からせん断抵抗角を推定する場合、同一 N 値においても採用する推定式で推定値に相違が発生し、その相違の程度も N 値の値によって異なる。

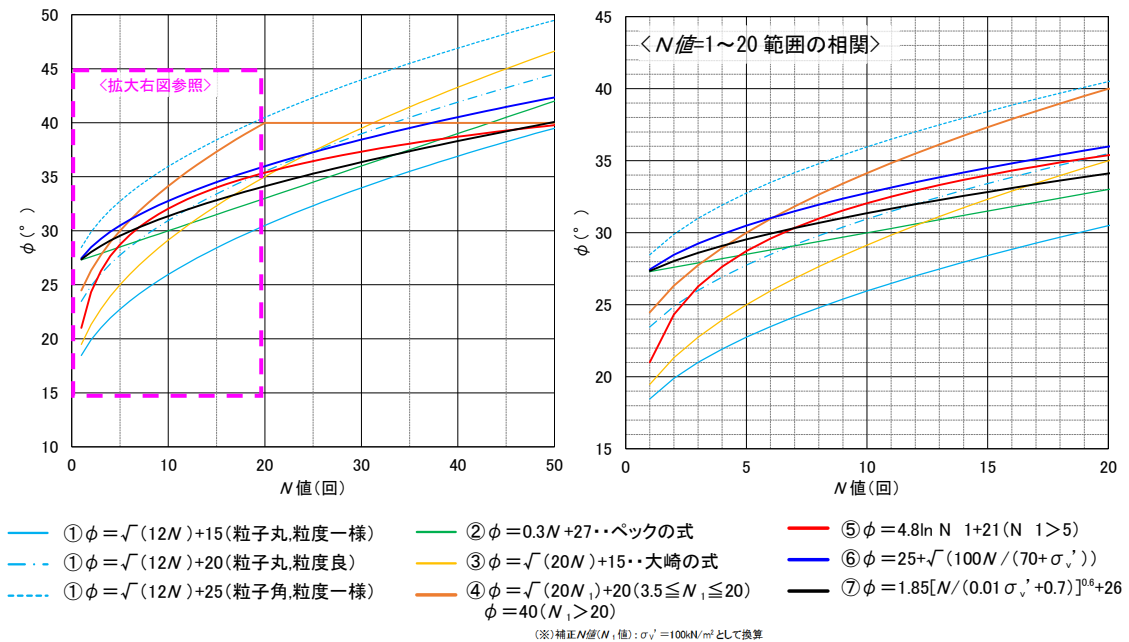


図- 2.1.1.2-1 せん断抵抗角と N 値の相関式の比較

2.1.1.3 セン断抵抗角推定の留意点

各推定式の特徴や比較により、 N 値によるせん断抵抗角の推定においては、以下に示すような留意点がある。

- (1) 推定式は、経験式より設定されており、誤差が大きく相関が低いものもある。
- (2) 推定式には、特定の地域のデータを基として設定された式も存在する。
- (3) 室内試験結果との比較においては、サンプリング仕様により、限られた粒度組成の砂質土に対する試験値との比較となる。
- (4) N 値の小さい緩い地盤においては、 N 値のばらつきが大きく、一部の推定式では適用範囲外としている。
- (5) 現行の指針・基準では、有効上載圧を考慮した補正 N 値を用いているが、各推定式により補正方法が異なる。
- (6) 推定式により N 値からせん断抵抗角を推定する場合、同一 N 値においても採用する推定式で推定値に相違が発生し、その相違の程度も N 値の値によって異なる。

以上より、推定式を活用する場合は、その推定式の特徴や適用範囲・推定精度を十分理解した上で用いることが必要である。

また、 N 値からの推定値だけで評価せず、室内試験との併用及び検証が望ましい。

2.1.2 N値による粘着力の推定による誤差

N値による粘着力の推定は、数多くの推定式が提案されているが、これらはN値から一軸圧縮強さを推定し、粘着力を導いている。

2.1.2.1 各種の推定式

表-2.1.2.1-1、図-2.1.2.1-1は各種文献で提案されているN値と一軸圧縮強さの関係^{1),6)}を示したものである。推定式の違いにより、一軸圧縮強さの推定値には最大6.7倍(①と⑥)の差が生じる。これらの推定式は、次のような問題を含んでいる。

- (1) 元データのばらつきが大きい。
- (2) 安全側で、下限値を推定している場合が多い。
- (3) 特にN値の小さい範囲で、データと推定式の乖離が大きい。

次に、利用頻度の高い表中の⑤Terzaghi and Peck 及び⑦大崎の式について述べる。

表- 2.1.2.1-1 N値と q_u の関係式

No	一軸圧縮強さの推定式		備考
	(kgf/cm ²)	(kN/m ²)	
①	$N/2$	$50N$	土質工学ハンドブック(1982)
②	$N/4$	$25N$	米国海軍省 DESINGMANUAL7, 柳瀬
③	$N/6$	$17N$	Peck シカゴ粘土
④	$N/6.7$	$15N$	米国海軍省 DESINGMANUAL7
⑤	$N/8$	$12.5N$	Terzaghi and Peck「地盤調査の方法と解説」
⑥	$N/13.3$	$7.5N$	米国海軍省 DESINGMANUAL7
⑦	$0.4+N/20$	$40+5N$	大崎(1959)「東京地盤図」
⑧	$N/7.5$	$13N$	三木(④と⑤の間)

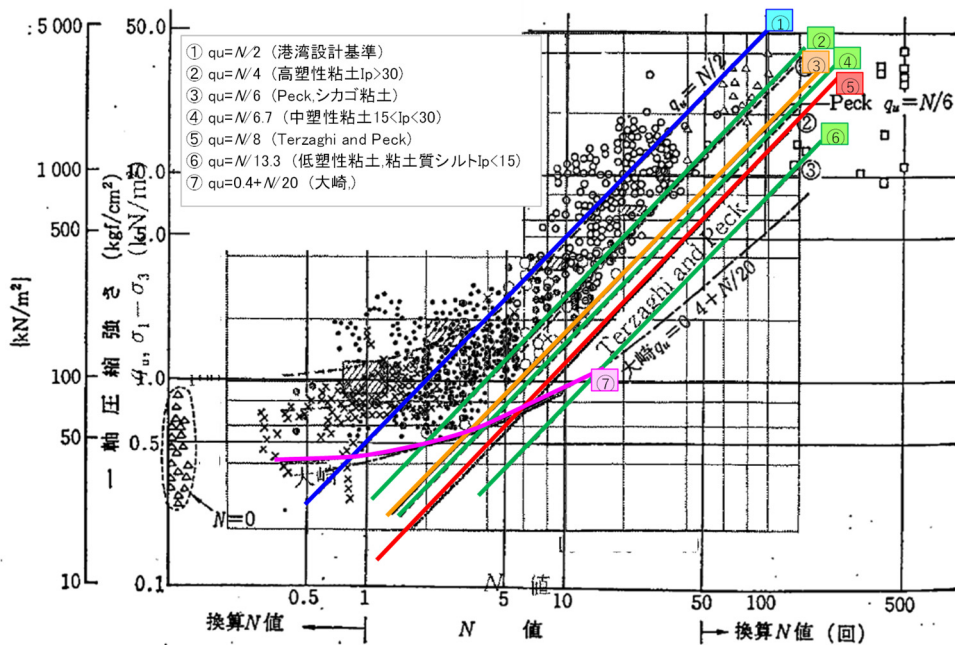


図- 2.1.2.1-1 N値と q_u の関係 (1),6) に一部加筆)

⑤ Terzaghi and Peck 式 ($q_u=12.5N$)

この式の基となっているのは、Terzaghi and Peck (1955) に示される表- 2.1.2.1-2 である。これは、 N 値の範囲と一軸圧縮強さの範囲の対比でありリニアな関係ではない。また、「与えられた 1ft 当たりの打撃回数 N に対して、対応する q_u の値の平均値からの分散は非常に大きい」としており、試験データは示されていないが、データのばらつきは大きいと推察される。

表- 2.1.2.1-2 粘土のコンシステンシーと試料採取用スプーンの打撃回数 N と一軸圧縮強さの関係⁷⁾

コンシステンシー	非常に軟らかい	軟らかい	普通の	硬い	非常に硬い	固結した
N	<2	2~4	4~8	8~15	15~30	>30
q_u (単位t/ft ²)	<0.25	0.25~0.50	0.50~1.00	1.00~2.00	2.00~4.00	>4.00

表- 2.1.2.1-2 の q_u の単位を kN/m^2 に変換し、 N 値と q_u の範囲をグラフであらわしたものが図- 2.1.2.1-2 である。一般に使われている下式は、図- 2.1.2.1-2 の斜線の範囲のほぼ中央を通る直線で表されたものである。

$$q_u = 12.5 \times N$$

したがって、上式はあまり意味のあるものではなく、かなりの誤差を含んでいる。

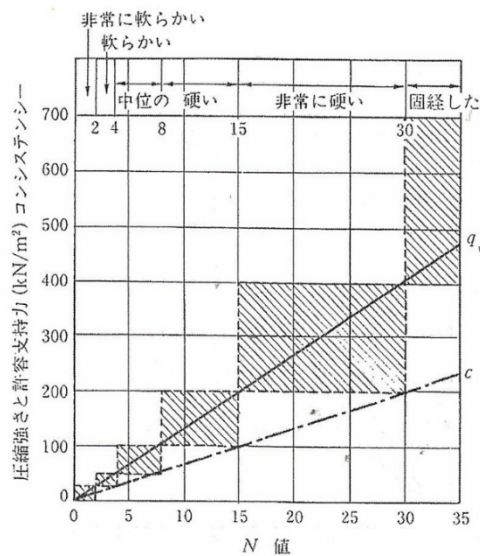


図- 2.1.2.1-2 N 値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さとの関係¹⁾

さらに、Terzaghi and Peck (1955) によると一軸圧縮試験に用いた試験試料は、SPTサンプラーで採取した試料であるとの記載があり、乱れによる強度低下等の懸念がある。

このように、Terzaghi and Peck式による q_u の N 値からの推定には次のような問題点がある。

- (1) N 値の範囲と一軸圧縮強さの範囲を対比させたものでリニアなものではない。
- (2) データのばらつきが大きい。
- (3) SPT サンプラーで採取した乱された試料で一軸圧縮試験を実施している。

⑦ 大崎式 (40+5 N)

下式は、東京地盤図に示されているもので、表- 2.1.2.1-3 及び図- 2.1.2.1-3 より導かれたものである。

$$q_u = 40 + 5 \times N \quad (\text{kN/m}^2)$$

表- 2.1.2.1-3 粘土質地盤に対する N 値と一軸圧縮強度⁸⁾

N 値		0~2	2~4	4~8	8~15
コンシステンシー		非常に柔らかい	柔らかい	中位の	堅い
一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	平均値	0.392	0.598	0.670	0.989
	範囲	0.18~0.61	0.27~0.93	0.36~0.98	0.72~1.26

東京地盤図 (1959) では、⑦式を以下の条件下において導いている。

- ・東京区部での試験結果を基本としている。
- ・東京層の結果は、試験値のばらつきが大きく、統計から除外してある。

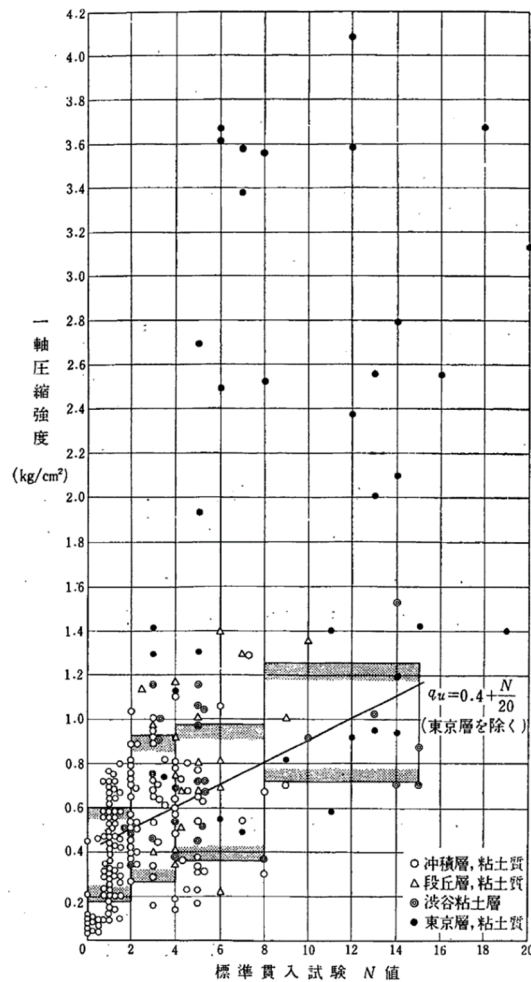


図- 2.1.2.1-3 粘土質地盤に対する N 値と一軸圧縮強度の関係⁸⁾

2.1.2.2 N値による粘着力推定の問題点

これまで述べてきたように、N値による粘着力推定には次のような問題点がある。

- (1) データのばらつきが大きく、必ずしも一つの推定式で表されるものではない。
- (2) 特に、N値が小さい（4以下）部分ではデータと推定式の乖離が大きく、軟弱地盤には適用できない。
- (3) データのばらつきが大きいため、安全側でデータの下限値を推定する式が多く、実際より小さな粘着力を与え過大設計となる可能性が大きい。
- (4) 推定式を求める際に用いられているデータは限られた地域のもが多く、どこでも使えるものではない。

以上のような問題点があるため、各種機関の基準・指針類では、現在はN値からの推定式を用いず、土質試験や原位置試験から粘着力を求めることを推奨している。

2.1.3 N値による変形係数の推定による誤差

ここでは、標準貫入試験のN値と各種変形係数（孔内載荷試験、平板載荷試験）の関係について取りまとめる。

Schultze-Menzenbach（1961）は12種類の土のN値と変形係数 E_s との関係を求め、土の種類によってその関係が相当変わりうることを示した。

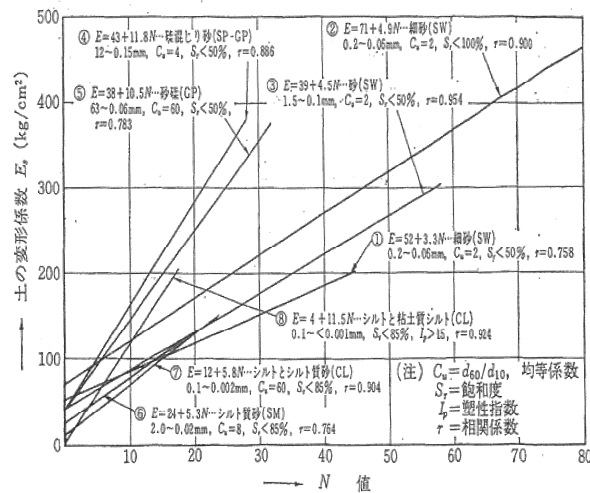


図- 2.1.3-1 土のN値と変形係数 E_s との関係⁹⁾

日本において、N値と孔内載荷試験による変形係数との関係は吉中（1967）が多くのデータを用い次の関係式を示している。

$$E = 0.678N^{0.9985} \text{ MN/m}^2 \quad (E: \text{変形係数} \quad N: \text{N値})$$

図- 2.1.3-2 では砂礫地盤の補正方法が不明である。砂礫を除くと N 値は概ね 20 以下である。重要な点として、吉中は粘性土の強度は N 値から推定できないとして、上式は粘性土には適応不可としている。

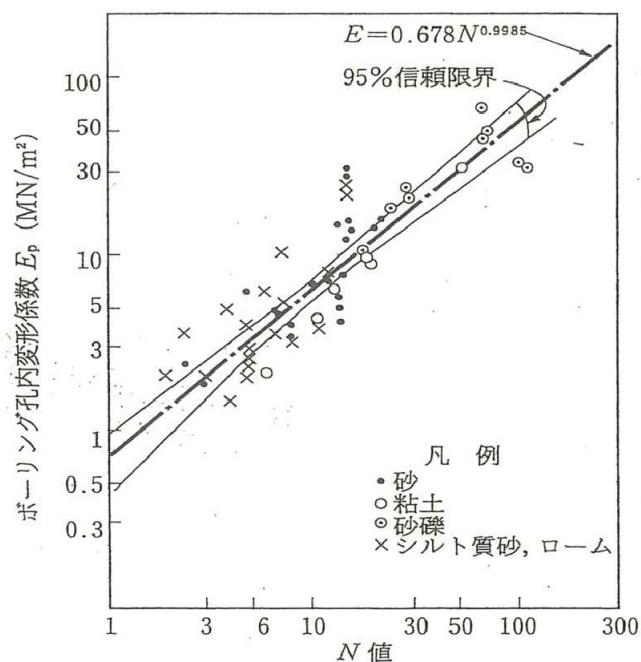


図- 2.1.3-2 E_p (E_0) と N 値の関係¹⁰⁾

また宇都 (1967) は同様にプレシオメーターによる変形係数と N 値との関係を示した。図- 2.1.3-3 には、以下の 3 式が示されている。

$$E = 4N \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$E = 7N \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$E = 10N \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

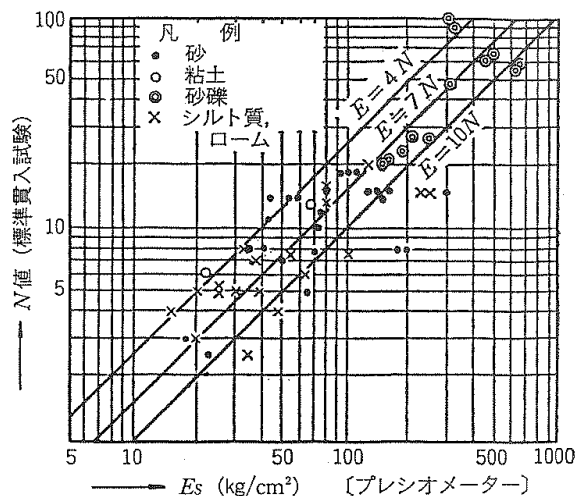


図- 2.1.3-3 N 値とプレシオメーターによる変形係数の関係¹¹⁾

(宇都一馬:「基礎地盤の調査」構造物の基礎。土木学会関東支部 42.10.12 に $E=4N$ を加筆)

下式は沖積層、洪積層、PEAT、岩盤を一括して示したものとなっている。

さらに土屋等（1980）は吉中（1964）のデータに加筆することにより、両対数グラフにより下式を導いている。

$$E = 670N^{0.986} \quad (\text{kN/m}^2)$$

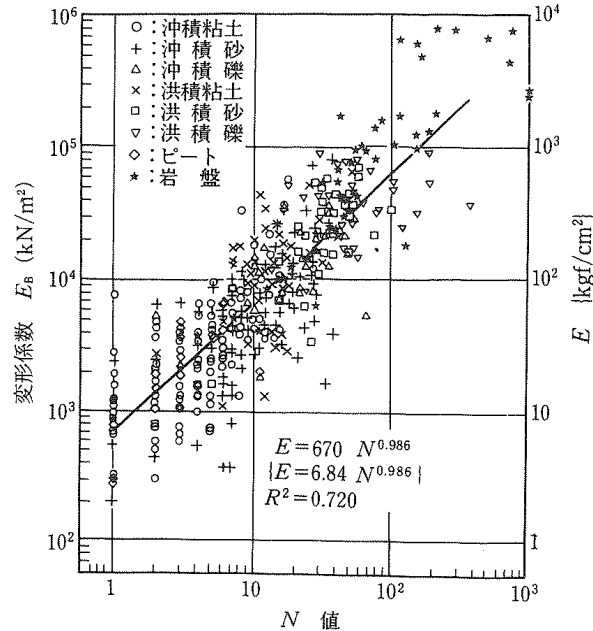


図- 2.1.3-4 孔内载荷試験より得られた変形係数とN値との関係¹²⁾

日本建築学会²⁰⁾では首都圏の700試料について孔内载荷試験と推定N値との関係を示した。データは埋土、沖積層、洪積層に分け粘性土層と砂質土層に示している。図-2.1.3-5は吉中式 ($E=700N$)を参照として示しているが洪積層、沖積層が大きくはずれていることが明らかである。また個々のばらつきも大きく相関を得ているとは考えにくい。

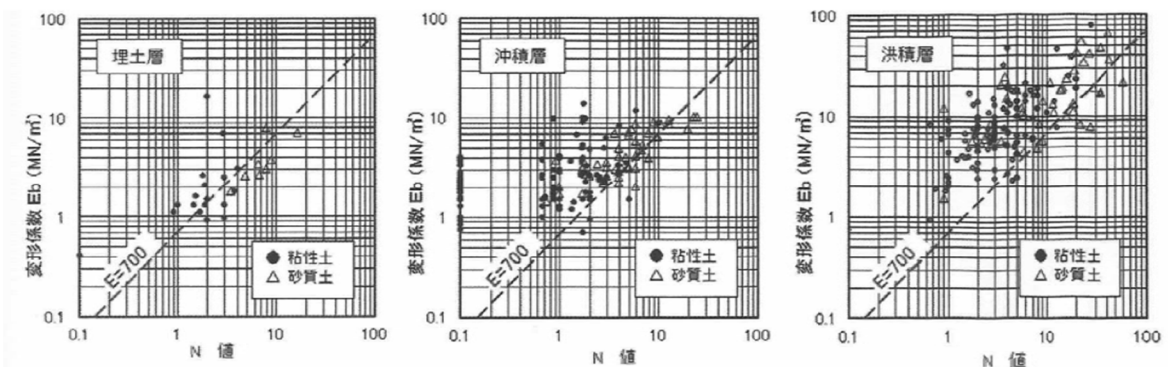


図- 2.1.3-5 N値と孔内水平载荷試験から求めた変形係数 E_b の関係（首都圏700試料）¹³⁾

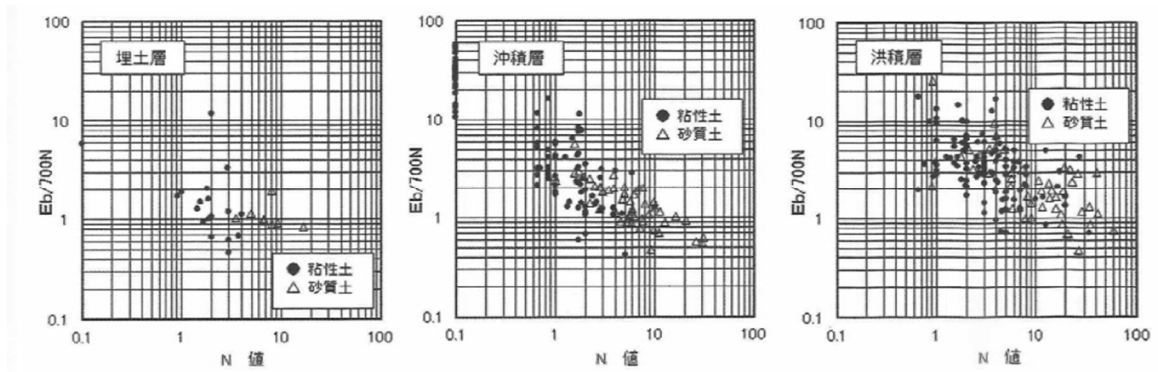


図- 2.1.3-6 N 値と $E_b/700N$ の関係 (首都圏 700 試料)¹³⁾

また N 値を軟岩に適用した事例も認められる。

N 値に対して深度方向の鉛直方向の変形係数も研究されている。 N 値の打撃回数はサンプラーの貫入量と打撃回数をもとに貫入量 30cm と仮定したときの打撃回数 (換算 N 値) を線形補間して求めるものである。ここでは道路橋示方書、鉄道標準示方書に示された $E_b=700N$ の関係が軟岩領域でも成立するようだと述べている。

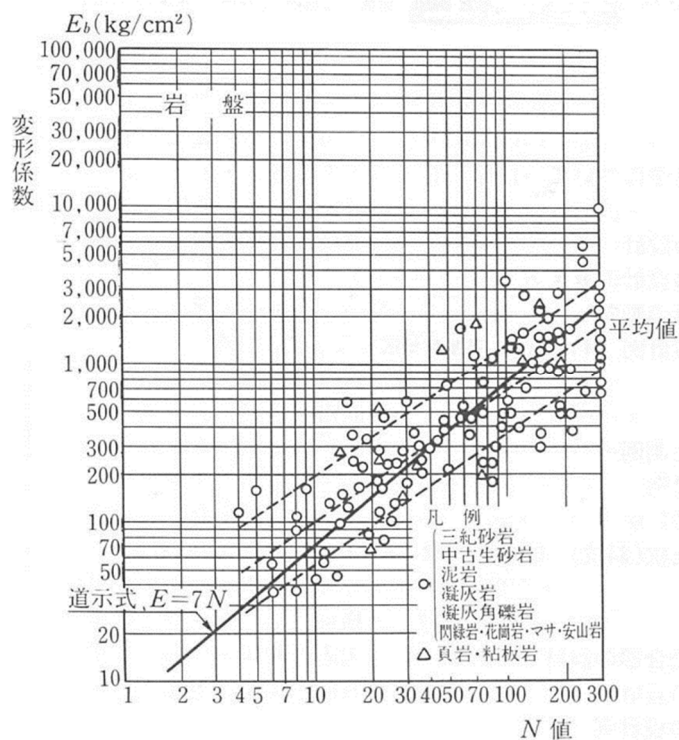


図- 2.1.3-7 換算 N 値と変形係数 E_b の関係¹⁴⁾

2.2 水平方向での地盤とN値の変化

地層はわずかに位置が変わっただけでも、複雑に変化することがあり、標準貫入試験の実施には様々な留意事項があり、試験実施者の個人差も加わるため、N値には相応のばらつきが生じることが自明といえる。

ここでは、既往論文を基にN値のばらつきについて整理した。なお、以降で紹介する研究については、標準貫入試験方法自体が現行のJIS規格が適用される以前のものである点に留意が必要である。特にハンマー落下方法については、多くの場合、現在設計に用いるN値を求める場合に認められている自動落下法ではなく、コーンプリー法やトンビ法が採用されていること、また記載の中で落下方法の区別がなされていないものがある点に留意されたい。

2.2.1 近接地点で測定したN値のばらつき

図-2.2.1-1は、極めて均一であると考えられる地盤で、しかも非常に近接した場所におけるN値を比較した結果である。このような条件においても、N値には2倍程度の差があることがわかり、ばらつきが大きいものと判断できる。

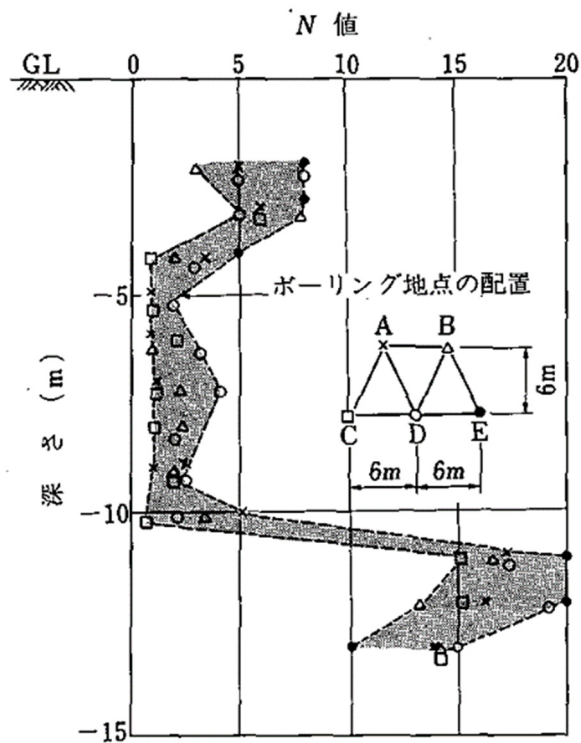


図- 2.2.1-1 近接地点のN値のばらつき¹⁵⁾

2.2.2 地盤の不均質性によるN値のばらつき

以下に示すのは、地盤の不均質性が測定されたN値にどのような影響を与えるかを調べた事例である。

関東地質調査業協会がハンマー落下方法による比較試験を川口と千葉で、同じく吉見、時松、大岡ら¹⁷⁾が新潟A、新潟B、筑波等で比較実験している。これらの地点は、比較試験の性格上、水平方向に連続性がよく、均質な地盤として選定されており、測定されたN値の差がハンマーの落下方法による差と考えられていた。

藤田(1987)が、それぞれの比較試験におけるボーリング孔毎のN値の合計(ΣN)は同様に試験方法の差を示すのではないかと予想してとりまとめたのが図-2.2.2-1であるが、そのような結果は得られなかった。図-2.2.2-1では、自動落下法とトンビ法が100%以下に、コーンブーリー法(+ストッパー法を含む)は100%以上の位置にプロットされるべきであるが、必ずしもそのような結果になっておらず、2つのグループのハンマー落下方法には有意な差は認められない。また、ロックポートや戸畑においては、2種類のロッド径で標準貫入試験を実施した場合のN値のばらつきについて比較試験が行われたが、その場合の合計N値(ΣN)のばらつきと、前述の落下方法別の比較試験 ΣN のばらつきとの間に、優位な差異は認められない。

これを図-2.2.2-2のヒストグラムにまとめると、ハンマーの落下方法は ΣN にそれほど影響を与えることがなく、ヒストグラムに示されるばらつきは他に原因があると考えられる。

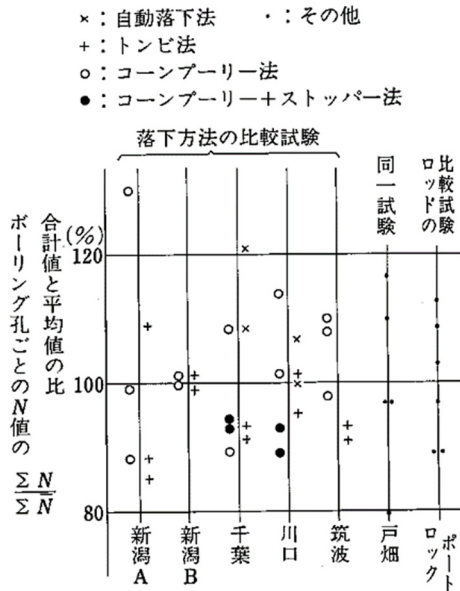


図-2.2.2-1 各比較試験における落下方法別合計N値と平均合計N値との比(藤田・1987)¹⁶⁾

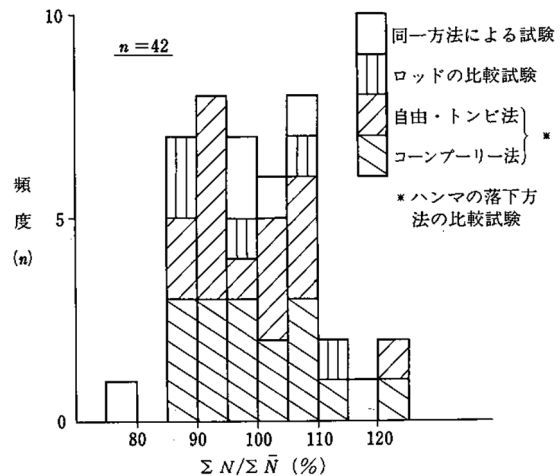


図-2.2.2-2 各比較試験におけるSPT-N値のボーリング毎の合計値の平均値に対するばらつきのヒストグラム(藤田・1990)¹⁶⁾

表- 2.2.2-1 では、各ボーリング孔の N 値とその合計値を与えているが、同様のばらつきがあり、その最大値と最小値は平均値に対してそれぞれ 117%と 79%である。5 地点のボーリング孔の相互距離 (L) は、6.0m、6.37m、10.82m もしくは 12.0m であるが、各ボーリング孔の同一標高で得られた N 値を比較し、その差の絶対値 (ΔN) を求め表- 2.2.2-1 に記入した。比較した 2 つのボーリング孔毎に ΔN の合計値 ($\Sigma \Delta N$) を計算し、1 回の N 値当りの平均値 ($\Delta \bar{N}$) を求めたのち、ボーリング孔間の距離 (L) 毎に整理した経過が表- 2.2.2-1 に示されている。

表- 2.2.2-1 近接ボーリング孔における N 値のばらつき (戸畑地点) (藤田・1987) ¹⁶⁾

深 度 (m)	各ボーリング孔の N 値					2 ボーリング間の N 値の差 (絶対値) …… ΔN									
	A	B	C	D	E	A-B	C-D	D-E	C-A	A-D	D-B	B-E	A-E	B-C	C-E
2	5	3	5	8	8	2	3	0	0	3	5	5	3	2	3
3	6	8	5	6	8	2	1	2	1	0	2	0	2	3	3
4	5	2	1	3	3	3	2	0	4	2	1	1	2	1	2
5	1	1	1	2	2	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1
6	1	1	2	3	3	0	1	0	1	2	2	2	2	1	1
7	1	2	1	4	2	1	3	2	0	3	2	0	1	1	1
8	2	2	1	2	3	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2
9	1	2	2	2	2	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
10	5	3	1	2	1	2	1	1	4	3	1	2	4	2	0
11	17	17	15	17	20	0	2	3	2	0	0	3	3	2	5
12	16	19	15	19	20	3	4	1	1	3	0	1	4	4	5
合 計 ΣN or $\Sigma \Delta N$ (%) or 小計	60 (97)	60 (97)	ΣN 49 (79)	68 (110)	72 (117)	14	$\Sigma \Delta N$ 19 43	10	15	$\Sigma \Delta N$ 18 63	14	16	$\Sigma \Delta N$ 24 41	17	$\Sigma \Delta N$ 23 23
平 均 ΣN or $\Sigma \Delta N$	$\Sigma \bar{N}$ 61.8 (100%)					$\Sigma \Delta \bar{N}$ 14.33			$\Sigma \Delta \bar{N}$ 15.75				$\Sigma \Delta \bar{N}$ 20.5		$\Sigma \Delta \bar{N}$ 23
平 均 N or $\Delta \bar{N}$	\bar{N} 5.62					$\Delta \bar{N}$ 1.30			$\Delta \bar{N}$ 1.43				$\Delta \bar{N}$ 1.86		$\Delta \bar{N}$ 2.09
2 ボーリング孔間の距離 (m)						6.00			6.37				10.82		12.0

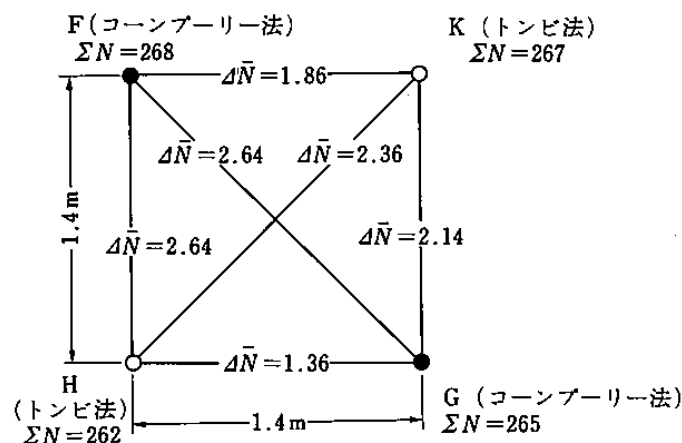


図- 2.2.2-3 ボーリング孔配置図と ΣN 、 $\Delta \bar{N}$ (藤田・1988) ¹⁶⁾

以上の結果は図-2.2.2-4 のようになり、ばらつき ΔN と距離 (L) の関係はほぼ直線的になることがわかった。すなわち、この地盤は距離とともに N 値の違いが大きくなるという、極めて常識的な結論となった。この図において、距離が 0 における ΔN を推定すると 0.68 となるが、これは同一地点における N 値のばらつき、すなわち N 値測定に伴う誤差であると考えられるべきである。この結果、戸畑地点における N 値のばらつきは、測定誤差のほか距離 L (m) に対しておよそ $0.115L$ 相当の地盤のばらつきからなると結論づけられる。

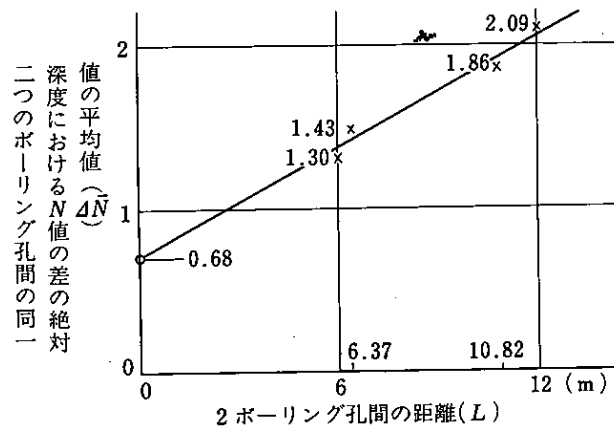


図- 2.2.2-4 ΔN と L の関係 (戸畑) (藤田・1987)¹⁶⁾

新潟 B 地点での試験結果を同様の方法を適用し、整理した結果の要点が、図-2.2.2-5 に示されている。この地点では、一辺が 1.4m の正方形のコーナーにボーリング孔を設け、コーンブリー法 (F 孔と G 孔) とトンビ法 (H 孔と K 孔) の比較試験を行っているが、同一方法のボーリング孔は対角線上に配置され、その距離は 2m (正確には 1.96m) である。

4 つのボーリング孔では同じ標高で各 14 ヶ所の N 値が測定されたが、各孔の合計値 (ΣN) は図示されているように、コーンブリー法の場合は 268 と 265 であるのに対して、トンビ法の場合は 262 と 267 であった。それぞれの合計 N 値は 533 と 529 となり、確かにトンビ法による方が N 値はわずかに小さくなるが、その差はほとんどなく、しかも K 孔の場合は G 孔よりも大きいという逆の結果もみられる。

また、ボーリング孔間の N 値における差の絶対値の平均値 (ΔN) は、2m 離れた同じ方法による $\Delta N=2.50$ (2.64 と 2.36 の平均) は、1.4m 離れた異なった方法による $\Delta N=2.00$ (1.86、2.14、1.36、2.64 の平均) よりも大きいことを読み取ることができる。これは、異なった方法よりも地盤のばらつきの方を問題として取り上げるべきことを意味している。

各比較試験のデータを以上の方法によって整理したところ、同じような結果が得られたので、これを図 2-2-6 のようにまとめた。比較試験を行うために選定された地盤が、わずか数 m の範囲であっても著しいばらつきを示していることと、 N 値の測定誤差がおよそ 1 前後であることから、 N 値評価には地盤のばらつき評価が重要であるといえる。

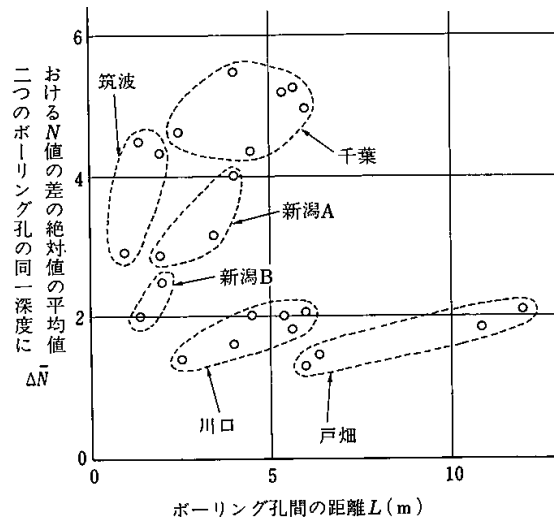


図- 2. 2. 2-5 ボーリング孔間の距離 (L) と N 値の差の平均値 (ΔN) の関係 (藤田・1987)¹⁶⁾

2.3 掘削方法と標準貫入試験による地質試料観察上の課題

2.3.1 標準貫入試験による地質試料観察上の課題

掘削方法（ペネボーリングと半ペネ半コアボーリング）の違いによる、地質資料（コアとペネ試料）の観察上の課題は以下のようにまとめられる。

- (1) ペネ試料では地質調査試料の位置深度、地層特性（例えば傾斜等）は、正確には把握できないと考えられる。
- (2) 打撃箇所（本打ち 30cm）の地質状況は、圧縮されているが観察できる。深度は正確性を欠く（誤差数 cm 程度（？）と考えればよい）。
- (3) 地層が複数層状をなす場合、試料ビンによる納品では状態は示すことができない（試験時から観察者が立ち合い、状態を把握しておくことが必須）。
- (4) 前打ち箇所の地質はスライムが混在し、正確ではない。後打ち箇所のサンプルはシューに残り新鮮な試料として評価できる。
- (5) 試験間ノンコア箇所の試料評価は、シングルコアチューブでは、感覚的であり、焼き付きコアやスライム状態のため、ほぼ観察不可能に近い。
- (6) 試験間コア採取の場合（ダブルコアチューブ）は、正確に地質の評価が可能である。
- (7) ペネボーリング（ノンコアボーリング）では、地質試料の採取率は $30\% + \alpha$ 程度であり、欠損部分（65%程度）が発生し見落とし箇所が多くなる（図-2.3.1-1 参照）。
- (8) 半ペネ半コア（SPT 併用オールコアボーリング）では地質試料の採取率は $85\% + \alpha$ 程度であり、欠損部分は 15%程度となり見落としは少ない（図-2.3.1-1 参照）。

仕様	ペネボーリング	半ペネ半コアボーリング
試料採取のイメージ (1 m 区間において)		
試料の特徴と コア採取率	コア採取率 $30\% + \alpha$ シングルコアチューブなので試料が焼き付き、リングを形成やスライム状態で不明瞭	コア採取率 $85\% + \alpha$ ダブルコアチューブ採取は試料特性が明瞭（深度位置、層厚、構成物、傾斜等）
見落とし率、 長所・短所	見落とし率： 65% 長所：サンプル瓶のみ納品 短所：試料の分布、状態が不明確、見落とし率が大きくなる 微妙な地層の差異が不明確	見落とし率： 15% 長所：試料をあまり乱れない状態で50cm採取実施箇所は、ペネボーリングと同じ 前打ちはスライムが含まれる場合が多い 短所：コア箱提出

図- 2.3.1-1 掘削方法による試料観察上の相違

2.3.2 標準貫入試験に伴う地層の見逃し

標準貫入試験を実施することにより、地質観察が困難な区間が生じるため、以下の①～③に示すような重要な地層の見逃しが生じる（図-2.3.2-1～図-2.3.2-3 参照）。その結果、過大設計、過小設計（未対策）といった「地質のリスク」につながるおそれがある。

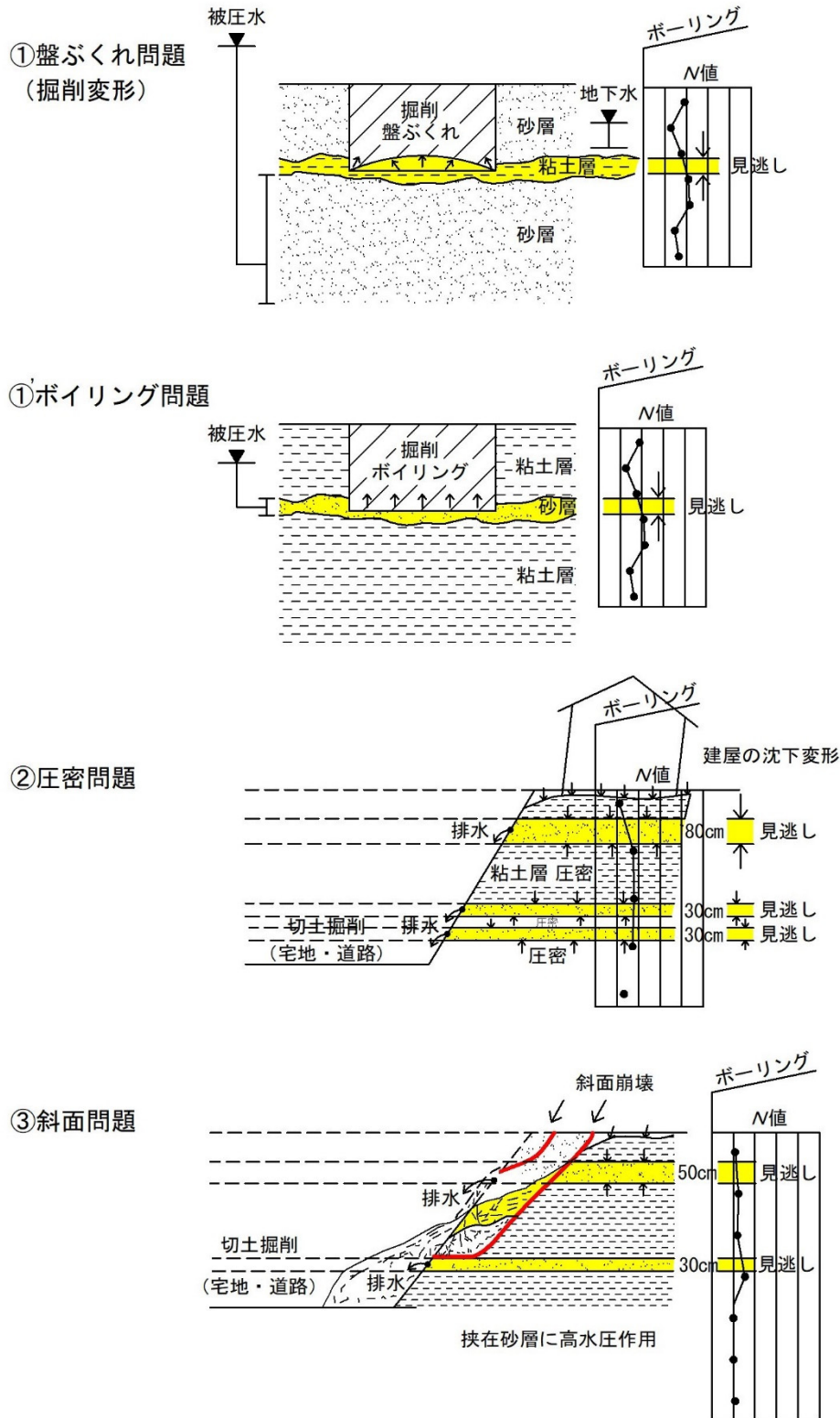
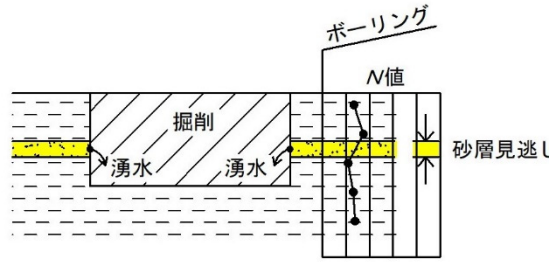
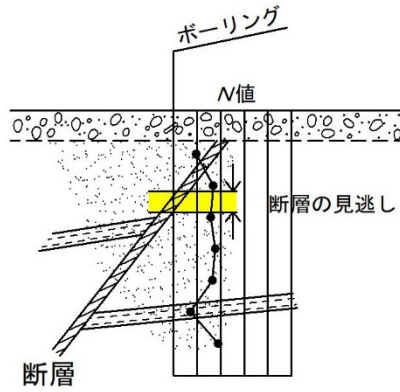


図- 2.3.2-1 標準貫入試験による重要地層の見逃し例 (1)

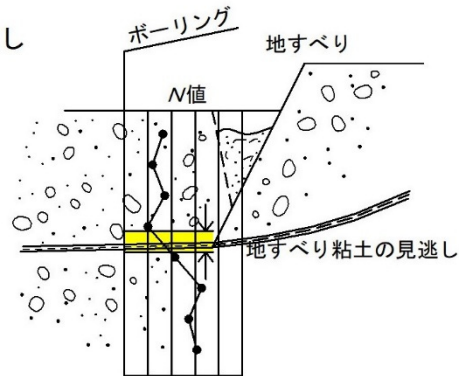
④地下水処理
(砂層見逃し)
大量湧水



⑤断層見逃し



⑥地すべり面見逃し



⑦鍵層の見逃し

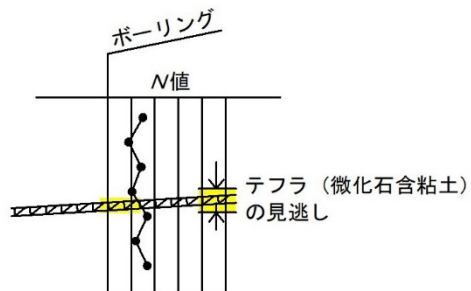


図- 2.3.2-2 標準貫入試験による重要地層の見逃し例 (2)

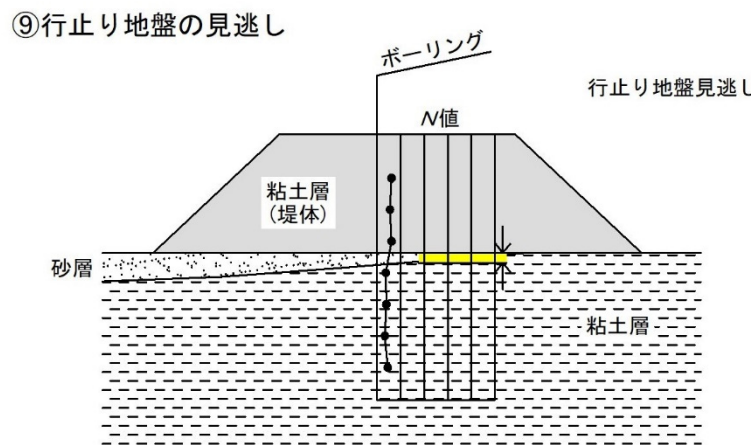
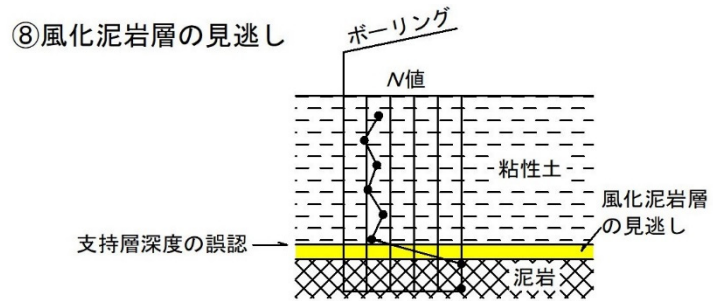


図- 2.3.2-3 標準貫入試験による重要地層の見逃し例 (3)

2.4 まとめ

➤ 標準貫入試験による強度評価の課題

- (1) 推定式は経験式であり、ばらつき・誤差を含む。
- (2) 推定式は複数あり、採用する式により推定値が異なる。
- (3) 採用する式により適用限界が明確に示されている。
- (4) 関連の基データには地域性等の限定的なものがある。
- (5) 地質技術者が相関式の適用限界や、適正な N 値の利用範囲を理解するとともに、室内試験や原位置試験の結果を踏まえて設定することが重要である。

N 値を基準に考えるのではなく、物性値を基準として考え、 N 値のばらつきをみることが重要である。そのためには地域別に物性値と N 値の関係を創ることが重要である。

➤ 水平方向での地盤と N 値の変化

- (1) 極めて均一であると考えられる地盤の非常に近接した箇所においても、同一深度の N 値が最大で 2 倍程度の差が生じる場合がある。
- (2) 比較試験を行うために選定された地盤（水平方向に均一と想定）においても、わずか数 m の離隔距離であっても、 N 値に著しいばらつきがある。

N 値の評価には地盤の不均一性を考慮する必要がある、別孔で実施した原位置試験値や室内試験値と N 値との比較においても地盤の不均一性を考慮すべきである。

➤ 掘削方法と標準貫入試験による地質試料観察上の課題

- (1) 標準貫入試験の特性として「地層の見落とし」が生じる。
- (2) N 値はともかく、地層評価をどこまで評価するかにより、適応限界がある。
- (3) 数 cm ～数十 cm 単位の地層把握の場合、地層を欠損するケースが生じ、過大設計、過小設計（未対策）といった「地質のリスク」に通じる。
- (4) 「支持力問題」「変形問題（動的含む）」「地下水問題」「土壌汚染」等の調査目的により、標準貫入試験の適用性は変化する。

地盤問題に対し、適正な地質調査としては、「パイロットオールコアボーリング」を実施し、地質の分布を明確にしたうえで別孔として標準貫入試験を実施する。

単一孔のみでの調査ではなく、別孔での標準貫入試験を含めた原位置試験、サンプリング（乱れの少ない試料）を行うことを推奨する。

<引用・参考文献>

- 1) 公益社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説 2013.3、pp.305-309、pp.686-687
- 2) 青木一二三：砂の内部摩擦角の新算定式、構造物設計資料、No82、日本鉄道施設協会、1985.6
- 3) 総合土木研究所：基礎工 Vol.25、No12、pp.77-81、1997
- 4) 畑中宗憲・内田明彦・田屋裕司：砂地盤の内部摩擦角 ϕ_d と正規化された標準貫入試験の N 値 (M) の関係、土と基礎、47-8、pp.5-8、1999
- 5) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編、p.62、pp.536-537
- 6) 社団法人土質工学会：土質工学ハンドブック、pp.480-481、1982.11
- 7) テルツァギ・ペック：土質力学 応用編、小野薫・星埜和・加藤渉・三木五三郎共訳、pp.271-272、1955
- 8) 建設省建築研究所・東京都建築局監修：東京地盤図、東京地盤調査研究会編、pp.18-19、1959
- 9) 社団法人土質工学会：土質基礎工学ライブラリー土質調査試験結果の解釈と適用例、pp.54-55、1979
- 10) 吉中竜之進：地盤反力係数とその載荷幅による補正、土木研究資料第 299 号、p.15、1967
- 11) 藤田圭一：土質調査試験結果の解釈と適用例（第 1 回改訂版）、土質工学会、pp.54-56、pp.101-108、1980
- 12) 公益社団法人地盤工学会：地盤調査方法、p.254、1995
- 13) 一般社団法人日本建築学会：建築基礎構造設計のための地盤評価 Q & A、pp.78-79、p.101
- 14) 総合土木研究所：基礎工 Vol.18、No3、p.67、1990
- 15) 藤田圭一：土質調査試験の解釈と適用例－第 2 章標準貫入試験（藤田圭一）1979、pp.33～90
- 16) 藤田圭一： N 値の解釈と適用、基礎工 1990 年 3 月号、1990.3、pp.19～29
- 17) 吉見吉昭・時松考次・大岡弘：コーンプーリー法とトンビ法による値の比較試験、第 18 回土木工学研究発表会（郡山）、1983.6、pp.47～48

3 地質調査発注タイプ毎の傾向

3.1 近年の発注段階における調査仕様の傾向

発注段階での調査仕様においては、調査対象となる構造物や事業の進捗段階により異なる。本検討における調査仕様の区分は、「本孔・別孔の取り扱い」、「標準貫入試験（SPT）・原位置試験・試料採取」の実施に着目した区分としている。発注時の調査仕様は、5つのタイプに区分した。各タイプの概要及び概念図を図-3.1-1に示す。

<p>タイプ-1: 調査孔は各地点で1孔とし、標準貫入試験(以降、SPTと称す)とサンプリング(試料採取)・孔内で実施する原位置試験を1孔で実施する仕様</p>
<p>タイプ-2: 調査孔は各地点で2孔とし、1孔目(本孔)はSPTのみとし、地質区分とM値分布を把握する。2孔目(別孔)では、1孔目のデータを基に試料採取及び原位置試験を実施する仕様</p>
<p>タイプ-3: 調査孔は各地点で1孔とし、周辺の既存データにより試料採取及び原位置試験の位置を決定し、SPTを含めて1孔で実施する仕様</p>
<p>タイプ-4: 調査孔は各地点で3孔とし、1孔目(本孔)はSPTのみとし、地質区分とM値分布を把握する。残り2孔(別孔1・2)は、試料採取孔及び原位置試験孔として実施する仕様</p>
<p>タイプ-5: 調査孔は各地点で1孔とし、SPTのみとする仕様</p>

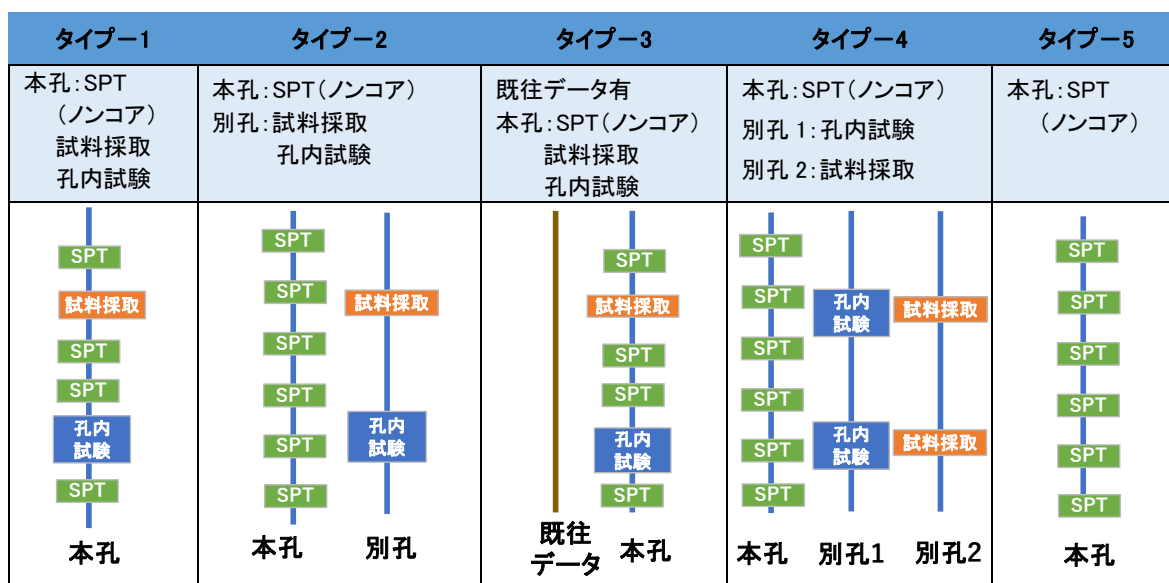


図- 3.1-1 発注時の調査仕様区分の概念図

対象業務は、令和元年度～令和3年度の過去3年間の国土交通省発注業務において、公募資料にて調査仕様を確認できる案件を対象とし、道路・河川・港湾の事業における傾向把握を試みた。

表-3.1-1にて調査業務全体での傾向を示し、表-3.1-2～表-3.1-4では道路・河川・港湾における傾向を示す。

表- 3.1-1 発注時の調査仕様の傾向(調査業務全体)

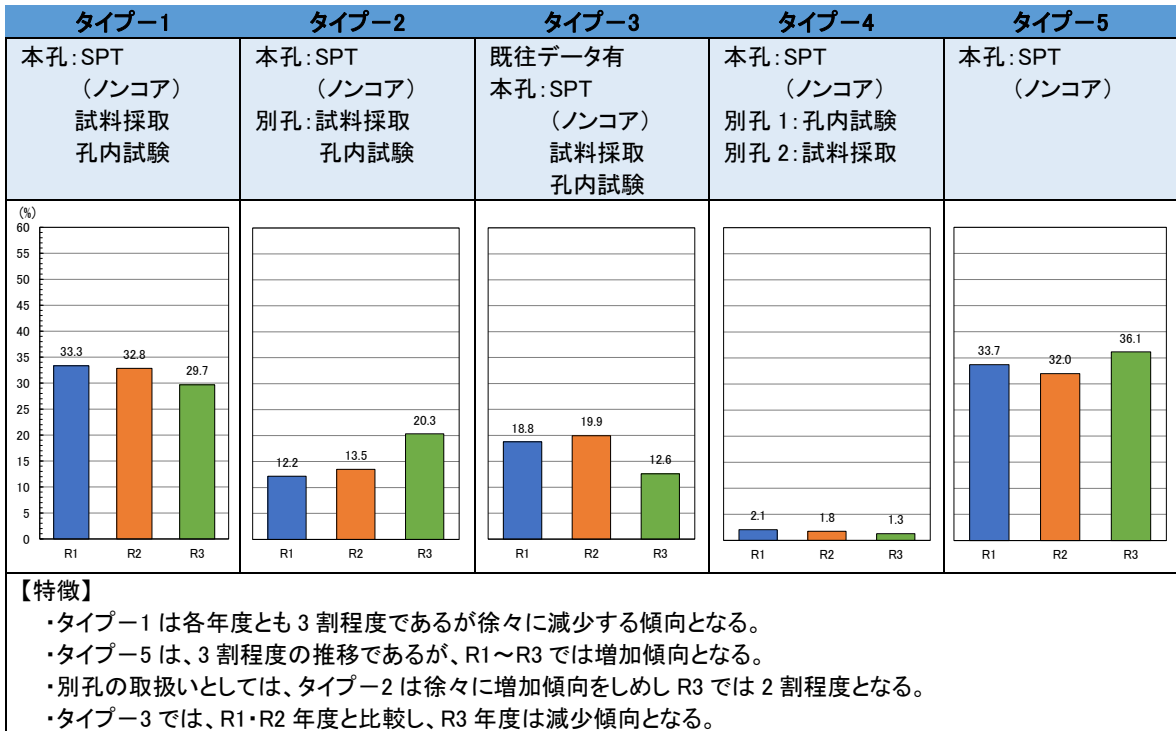


表- 3.1-2 発注時の調査仕様の傾向(道路系の調査業務)

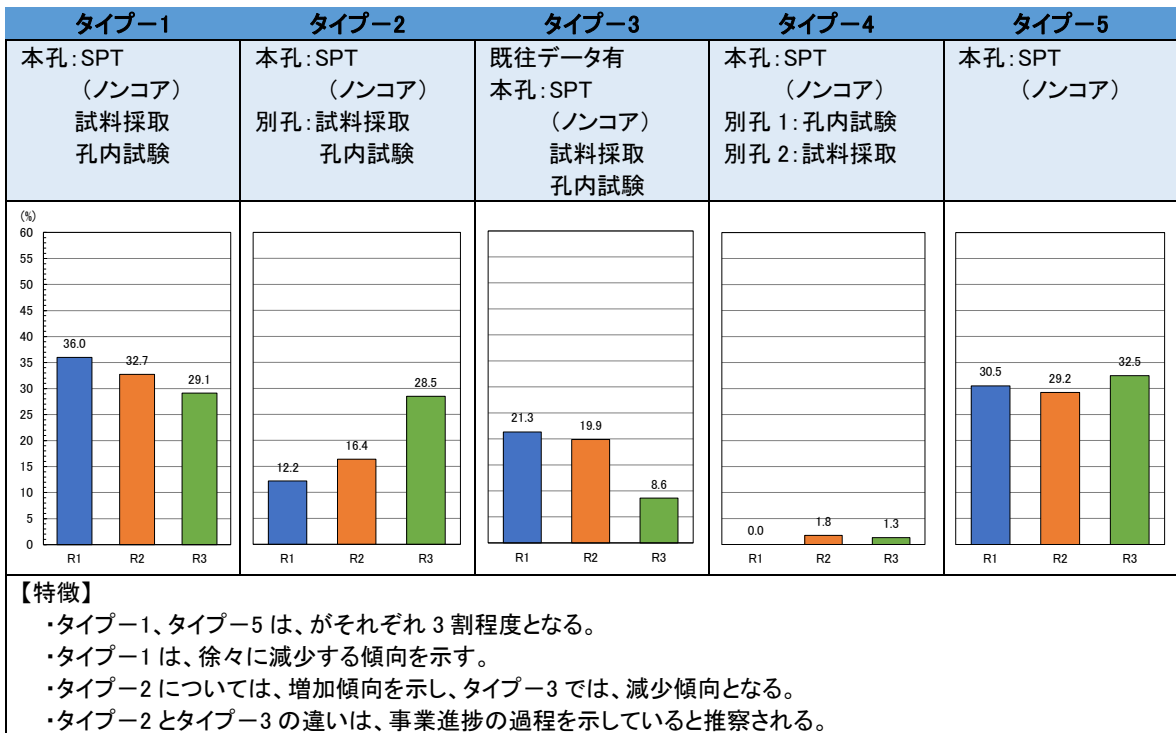


表- 3.1-3 発注時の調査仕様の傾向(河川系の調査業務)

タイプ-1	タイプ-2	タイプ-3	タイプ-4	タイプ-5
本孔:SPT (ノンコア) 試料採取 孔内試験	本孔:SPT (ノンコア) 別孔:試料採取 孔内試験	既往データ有 本孔:SPT (ノンコア) 試料採取 孔内試験	本孔:SPT (ノンコア) 別孔1:孔内試験 別孔2:試料採取	本孔:SPT (ノンコア)
<p>【特徴】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・3年度ともタイプ-5が多く4~5割程度となる。 ・次に比率としてタイプ-1が多く、3割前後となる。 ・年度による増減等の変化は見られない。 ・別孔の取扱いとしては、既存データを考慮するタイプ-3は少なく、タイプ-2が主と考えられる。 				

表- 3.1-4 発注時の調査仕様の傾向(港湾系の調査業務)

タイプ-1	タイプ-2	タイプ-3	タイプ-4	タイプ-5
本孔:SPT (ノンコア) 試料採取 孔内試験	本孔:SPT (ノンコア) 別孔:試料採取 孔内試験	既往データ有 本孔:SPT (ノンコア) 試料採取 孔内試験	本孔:SPT (ノンコア) 別孔1:孔内試験 別孔2:試料採取	本孔:SPT (ノンコア)
<p>【特徴】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・タイプ-1が各年度とも3割程度となる。タイプ-5は、他の事業に比べて少ない。 ・別孔の取扱いは、既存データを考慮するタイプ-3の比率が多く、R1年度との比較では増加する傾向となる。 ・タイプ-4については、羽田空港関連業務が主となる。 ・発注段階で、原位置試験やサンプリングを別孔とする傾向が確認された。 				

各事業における傾向のまとめを表- 3.1-5 に示す。

表- 3.1-5 各事業における発注仕様の傾向

各事業	発注仕様の傾向
調査全般	タイプ-1・タイプ-5 が各年度とも 3 割程度である。
	別孔の取扱いは、タイプ-2 は徐々に増加傾向を示し R3 年では 2 割程度となる。
道路系	タイプ-1・タイプ-5 が 3 割程度を示す。
	タイプ-1 は、減少する傾向をとる。
	別孔の取扱いは、タイプ-2 が増加傾向を示し、R3 年で約 3 割程度となる。
河川系	検証した 3 年間では、タイプ-5 が最も多く 4~5 割程度となる。
	別孔の取扱いは、既存データを考慮するタイプ-3 は少なく、タイプ-2 が主となる。
港湾系	発注段階で原位置試験・試料採取を別孔とする傾向が確認された。
	タイプ-3 の比率が最も多い。
	タイプ-4 については、羽田空港関連業務が主となる。

道路・河川系では、タイプ-1 やタイプ-5 の仕様の割合が多い傾向となる。

タイプ-1 では、地層の層厚や強度（締まり具合）の違いを考慮することができない状態での試料採取や原位置試験となり、適切な位置・頻度での調査とならないケースも想定される。

また、タイプ-5 の仕様については、業務中に調査内容の見直し・提案等を実施していると想定されるが、発注時の仕様では *N* 値のみでの地盤評価となり、地盤の強度を適切に評価されない可能性がある。

タイプ-2 については、全体の比率としては多くはないが、増加傾向を示す結果であり、本孔の結果を踏まえて、適切な深度・頻度での試料採取や原位置試験を別孔で実施する方針が認識されていると考えられる。

また、タイプ-3 の様に近傍の既往データを活用した調査計画とする仕様については、事業の違いにより割合が異なる傾向となった。港湾系において、最も多い割合となった。

今後、発注時の調査仕様が、事業の進捗や既往データの有無を考慮した別孔の取り扱いを適切に評価した仕様となることが望まれる。

3.2 事業レベルと調査仕様の組合せ（案）

調査仕様は、対象事業の段階に応じた内容とし、過不足の無い仕様であることが望ましい。本検討では、事業を3つに区分し、それに対応する調査区分を設定した（表-3.2-1）。

表- 3.2-1 事業区分と調査段階

事業区分	調査区分	内容
建築事業	ステップ1	支持層確認や建築に関する事業の設計段階での調査
予備設計	ステップ2	建設事業の予備設計段階での調査や1次調査の補足調査
詳細設計	ステップ3	建設事業の詳細設計段階での調査とし、計画構造物箇所での調査や、地質課題（地質リスク）の解明や設計区間において地層変化が激しい箇所の確認を目的とした調査

さらに、調査の仕様を「コア採取・ノンコア掘削」「本孔・別孔の取り扱い」、「標準貫入試験（SPT）・原位置試験・試料採取」の実施に着目し、仕様①～⑤に区分した（図-3.2-1）。

事業区分における調査仕様の組合せ案を図-3.2-2に示す。

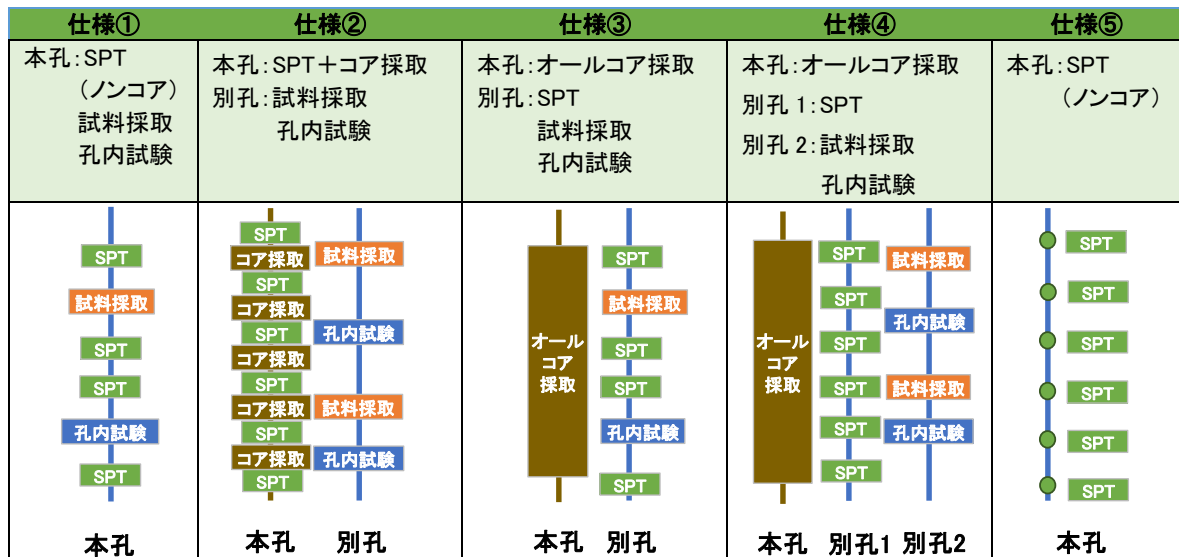


図- 3.2-1 調査仕様の説明

- 仕様①: 調査孔は各地点で1孔とし、標準貫入試験(以降、SPTと称す)と試料採取(試験用のサンプリング)・孔内試験を1孔で実施する仕様
- 仕様②: 調査孔は各地点で2孔とし、1孔目(本孔)はSPTとコア採取を実施し、地質区分とM値分布を把握する。2孔目(別孔)では、1孔目のデータを基に試料採取・孔内試験を実施する仕様
- 仕様③: 調査孔は各地点で2孔とし、1孔目はオールコア採取孔とし、1孔目の地質状況を踏まえて、2孔目(別孔)にてSPT及び試料採取・孔内試験を実施する仕様
- 仕様④: 調査孔は各地点で3孔とし、1孔目(本孔)はオールコア採取孔とし、地質区分を把握する。別孔1にてSPTを実施し、別孔2にて、試料採取・孔内試験を実施する仕様
- 仕様⑤: 調査孔は各地点で1孔とし、SPTのみとする仕様

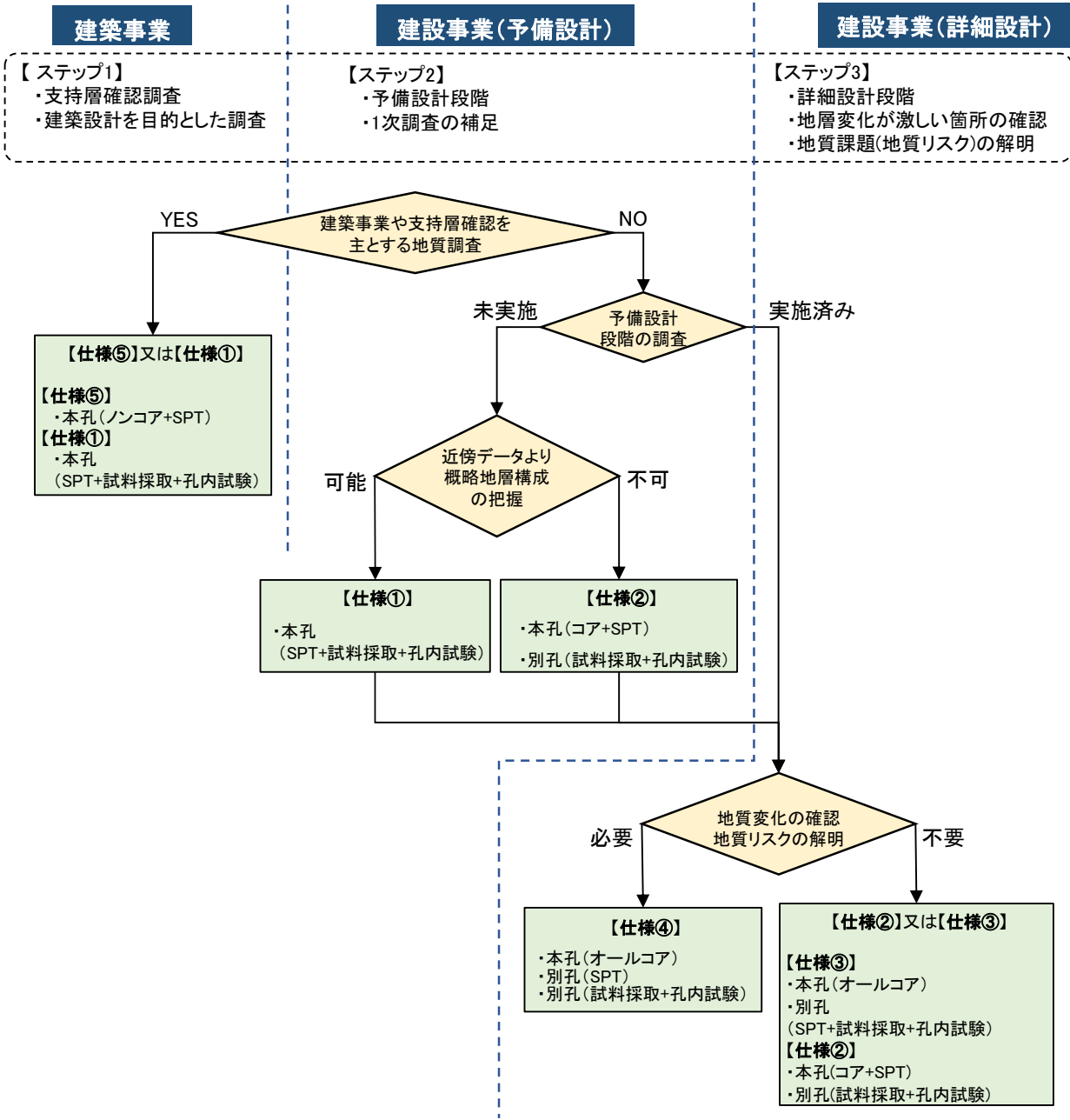


図- 3.2-2 事業区分に応じた調査仕様の組合せ案

4 試験深度の違いによる作業能力実態調査

本章では、N値を得るための標準貫入試験について、試験深度の違いにより生じる実施時間（労務量）や調査費への影響について整理する。

4.1 積算基準上の深度補正の実態

本節では、試験深度の違いにより生じる調査費への影響の整理として、各種の積算関係図書等で示されている調査費算出、特に試験深度に応じた補正の考え方について、業務に関わる立場の違いを踏まえつつ整理する。

具体的には、標準貫入試験を含めた地質調査業務を受注し実施する立場と発注する立場の代表として、それぞれ（一社）全国地質調査業協会連合会と国土交通省（旧建設省、旧運輸省とも）を取り上げて、それぞれが発行または監修する積算基準図書等での深度補正に関する考え方を整理する。

4.1.1 受注者の立場

（一社）全国地質調査業協会連合会が発行する「全国標準積算資料 土質調査・地質調査 令和2年度改訂歩掛版」では、ボーリング掘削と同様、標準貫入試験においても標準単価に試験深度に応じた5区分の補正係数を乗じる調査費の補正を提案している。

（参考）（一社）全国地質調査業協会連合会

「全国標準積算資料 土質調査・地質調査 令和2年度改訂歩掛版」¹⁾

3-1-1 標準貫入試験

標準貫入試験は、SPT サンプラーを動的貫入することによって地盤の硬軟、締まり具合の判定、および土層構成を把握するための試料の採取を目的とする。

自動型（半自動落下型，全自動落下型）（1回当たり）歩掛表

（IV 121 表）

種別	細別	単位	数量				摘要
			粘性土	砂質土	砂礫	固結シルト 固結粘土 (土丹)	
直接人件費	地質調査技師	人	0.066	0.073	0.086	0.08	データ整理を含む
	主任地質調査員	〃	0.08	0.1	0.14	0.12	
	地質調査員	〃	0.16	0.2	0.28	0.24	
材料費	シユ一	個	0.05	0.1	0.2	0.15	角度 19° 45' ± 8' 外径 φ 51mm 内径 φ 35mm 全長 810mm φ 40.5mm 3m 上記材料費計の 5%
	サンプラー	〃	0.008	0.015	0.03	0.023	
	ロツド	本	0.008	0.015	0.03	0.023	
	消耗品	式	1	1	1	1	
動力費	軽油	ℓ	0.37	0.46	0.6	0.55	軽油費の 20%
	油脂	式	1	1	1	1	
機械等損料	自動落下装置	日	0.08	0.1	0.14	0.12	半自動型又は全自動型 100m型
	自動記録装置	〃	0.08	0.1	0.14	0.12	
	ボーリングマシン一式	〃	0.08	0.1	0.14	0.12	

（注）1. 補正係数 深度割増：歩掛は、深度に応じ次の補正係数を乗じて積算のこと。

深度 m	50 未満	50 ~ 80 未満	80 ~ 100 未満	100 ~ 200 未満	200 以上
補正係数	1.00	1.25	1.50	1.75	適宜精算

2. （参考）玉石混じり土砂の歩掛数量は、砂質土の 1.8 倍以上

4.1.2 発注者の立場（国土交通省・旧建設省）

国土交通省大臣官房技術調査課（旧建設省）が監修する「設計業務等標準積算基準書設計業務等標準積算基準書 令和4年度版」では、ボーリング掘削において、標準単価に試験深度に応じた3～4区分の補正係数を乗じる調査費の補正を認めている。しかし、標準貫入試験では同様の補正を認めていない。

（参考）国土交通省大臣官房技術調査課

「設計業務等標準積算基準書設計業務等標準積算基準書 令和4年度版」²⁾

（ボーリングのせん孔深度等に応じた補正に関する記載）

3. 補正係数の設定

表2. 1. 3 土質ボーリングの補正係数

補正の区分	適用基準	記号	補正係数
せん孔深度	50m以下	K1	1.00
	50m超80m以下	K2	1.10
	80m超100m以下	K3	1.15
せん孔方向	鉛直下方	K8	1.00
	斜め下方	K9	1.15
	水平	K10	1.20
	斜め上方	K11	1.40

表2. 1. 4 岩盤ボーリングの補正係数

補正の区分	適用基準	記号	補正係数
せん孔深度	50m以下	K4	1.00
	50m超80m以下	K5	1.10
	80m超120m以下	K6	1.15
	120m超	K7	1.25
せん孔方向	鉛直下方	K12	1.00
	斜め下方	K13	1.15
	水平	K14	1.20
	斜め上方	K15	1.40

4. 直接調査費の算出

直接調査費＝設計単価×設計数量

設計価格＝標準の市場単価×せん孔延長×{(K1～K7)×(K8～K15)}

〔算出例〕

せん孔深度 80m（軟岩 60m，中硬岩 20m）斜め下方の岩盤ボーリングを行う場合
 （補正係数） せん孔深度（50m超 80m以下）：K5
 せん孔方向（斜め下方）：K13

（軟岩の市場単価 [50m以下] × 60m + 中硬岩の市場単価 [50m以下] × 20m） × (K5 × K13)

注）せん孔深度の補正係数は、各ボーリングの深度より適用基準に当てはまるものを選び、深度全体を補正の対象とする。

4.1.3 発注者の立場（国土交通省・旧運輸省）

国土交通省港湾局監修（旧運輸省）が監修する「港湾土木請負工事積算基準 令和4年度改訂版」では、海上施工の場合に限って、その他の原位置試験と合わせて標準貫入試験の試験深度に応じた4区分の作業能率に乗じる補正係数を設け、深度補正した調査費を認めている。

（参考）国土交通省港湾局

「港湾土木請負工事積算基準 令和4年度改訂版」³⁾

3-6 原位置試験および乱れの少ない試料採取

原位置試験には、標準貫入試験、ベーンせん断試験（ベーンテスト）、孔内水平載荷試験、また乱れの少ない試料採取には固定ピストン式シンウォールサンプリング、ロータリー式二重管・三重管サンプリングを標準とする。

3-6-1 原位置試験および乱れの少ない試料採取（海上施工）

1) 適用範囲

本項は、海上での原位置試験および乱れの少ない試料採取に適用する。

2) 施工歩掛

(1) 作業能力の算定

① 1日当りの試験回数および採取本数（N）は以下による。

$$N = n \times (1.00 + E_1) \times E_2 \times E_3 \quad (\text{回} \cdot \text{本} / \text{日}) \quad (\text{小数} 2 \text{位四捨五入})$$

n : 1日当りの標準作業量（回・本/日）（1日の現地作業時間6h）

E₁ : せん孔深度区分能力補正係数

E₂ : 現場条件区分能力係数

E₃ : 作業時間区分能力係数

② 1日当りの標準原位置試験回数および乱れの少ない試料採取量

土 質	原 位 置 試 験			乱れの少ない試料採取	
	標準貫入試験	ベーンせん断試験	孔内水平載荷試験	固定ピストン式シンウォールサンプリング	ロータリー式二重管・三重管サンプリング
粘性土・シルト	11.0回	4.5回	2.5回	7.0本	5.5本
砂・砂質土	11.0回	—	2.5回	4.5本	3.0本
レキ混り土砂	9.5回	—	—	—	1.5本
固結シルト・固結粘土	9.0回	—	—	—	2.0本
軟岩・中硬岩・硬岩	9.0回	—	—	—	—

注) 孔内水平載荷試験は、普通載荷（20～25kg/cm²）を標準とする。
また、測定器がプレシオメータ、L.L.TおよびK.K.Tの場合に適用する。

③ 能力補正係数

影響要因	適用明細	補正係数	摘 要		
E ₁	せん孔深度区分	50m未満	0.00	せん孔深度は、機械台からの深度とする。 なお、せん孔深度は、1孔のせん孔長全体とし、標準貫入試験等の最終打止め部分はせん孔長から控除する。	
		50m以上～80m未満	-0.10		
		80m以上～100m未満	-0.20		
		100m以上	別途考慮		
E ₂	現場条件区分	影響なし	1.00	ボーリング工の現場条件区分と同じとする	
		やや影響あり	0.90		
		悪い	0.80		
E ₃	作業時間区分	海上	5km未満	0.85	基地～現場間の往復平均距離により区分する。
			5km～10km未満	0.72	
			10km～15km未満	0.51	

なお、この補正係数については、(一社) 全国地質調査業協会連合会が提案する補正係数とは、逆数関係にあるので、相互の比較が容易となるように表-4.1.3-1 にそれぞれの補正方法による調査費の割増率を整理した。

これを見ると、実質の補正を行う試験深度 50m 以上のすべての階級において、(一社) 全国地質調査業協会連合会が提案する割増率に対して、国土交通省 (旧運輸省) が定める割増率の方が低いことが分かる。

表- 4.1.3-1 積算基準図書等の種類毎の標準貫入試験費用の補正係数の比較

試験深度階級	全国地質調査業協会連合会	国土交通省 (旧運輸省)
50m未満	補正係数1.00 → <u>割増率0%</u>	補正係数 $E_1=0.00$ 作業能率 $1.00-0.00=1.00$ → <u>割増率0%</u>
50m以上80m未満	補正係数1.25 → <u>割増率25%</u>	補正係数 $E_1=0.10$ 作業能率 $1.00-0.10=0.90$ → <u>割増率11%</u>
80m以上100m未満	補正係数1.50 → <u>割増率50%</u>	補正係数 $E_1=0.20$ 作業能率 $1.00-0.20=0.80$ → <u>割増率25%</u>
100m以上200m未満	補正係数1.75 → <u>割増率75%</u>	別途考慮
200m以上	適宜精算	

4.1.4 整理結果のまとめ

以上の整理の結果、試験深度の違いにより生じる実施時間 (労務量) や費用への影響については、受発注者間でその認識に相違があることが認められる。

現状では、業務を請負い、試験を実施する受注者は、深度が増すほど負担増を感じ、費用について相応の補正が必要と考えている。一方、発注者はそうとは考えていない、あるいは、影響は小さいと認識していると考えられる。

4.2 試験深度の違いによる昇降時間への影響

標準貫入試験を実施する場合、試験深度が深くなるほど、試験前後に行うボーリングロッドの昇降、脱着に要する時間 (以降では、単に“昇降時間”という) は増加する。

本節では、試験深度と労務量の相関、労務量の増加傾向を定量的に把握するため、WGメンバーが所属する会社で実際の業務として標準貫入試験を実施した際の昇降時間について、整理・分析した結果を報告する。

なお、整理・分析の対象は、以下に示す掘進長 100m を超える 2 つの事例とした。

事例 1 : 試験深度 50m~150m までの 5m 毎に昇降時間を測定

事例 2 : 試験深度 19m~140m までの代表 13 深度で昇降時間を測定

4.2.1 整理結果

2つの事例について、深度別の昇降時間を、表- 4.2.1-1、表- 4.2.1-2 と図- 4.2.1-1、図- 4.2.1-2 に整理した。

事例毎の相違、深度毎のばらつきはあるものの、2つの事例から試験深度が深くなるほど、昇降時間は長くなる傾向が確認された。また、試験前のロッドを降ろすのに有する時間に対して、試験後のロッドを上げるのに有する時間の方が必要な時間が長くなる傾向が確認された。

表- 4.2.1-1 深度別の昇降時間一覧表（事例1）

深度 (GL-m)	試験前 (ロッド降ろす時)		試験後 (ロッド上げる時)		備考	試験後/試験前 (上げる/降ろす)
	分、秒	秒	分、秒	秒		
50	3分30秒	210	5分00秒	300	トンゲ	1.43
55	3分40秒	220	7分20秒	440	〃	2.00
60	4分00秒	240	8分30秒	510	〃	2.13
65	4分00秒	240	8分30秒	510	〃	2.13
70	4分40秒	280	9分30秒	570	〃	2.04
75	7分30秒	450	10分00秒	600	ホイストスイベル	1.33
80	8分00秒	480	9分40秒	580	〃	1.21
85	8分30秒	510	12分30秒	750	〃	1.47
90	9分20秒	560	13分00秒	780	〃	1.39
95	9分30秒	570	13分00秒	780	〃	1.37
100	9分50秒	590	14分00秒	840	〃	1.42
105	10分00秒	600	13分30秒	810	〃	1.35
110	10分30秒	630	14分30秒	870	〃	1.38
115	10分20秒	620	15分00秒	900	〃	1.45
120	10分40秒	640	15分10秒	910	〃	1.42
125	12分30秒	750	16分00秒	960	〃	1.28
130	12分50秒	770	18分00秒	1080	〃	1.40
135	13分00秒	780	17分50秒	1070	〃	1.37
140	13分30秒	810	18分30秒	1110	〃	1.37
145	14分20秒	860	21分00秒	1260	〃	1.47
150	15分00秒	900	24分00秒	1440	〃	1.60

表- 4.2.1-2 深度別の昇降時間一覧表（事例2）

深度 (GL-m)	試験前 (ロッド降ろす時)		試験後 (ロッド上げる時)		備考	試験後/試験前 (上げる/降ろす)
	分、秒	秒	分、秒	秒		
19	1分31秒	91	1分50秒	110	フォルダー体型トンゲ	1.21
26	1分50秒	110	3分8秒	188	〃	1.71
33	2分33秒	153	3分53秒	233	〃	1.52
49	3分40秒	220	5分5秒	305	〃	1.39
60	4分0秒	240	6分40秒	400	〃	1.67
69	4分0秒	240	8分11秒	491	〃	2.05
76	3分56秒	236	8分24秒	504	〃	2.14
90	4分21秒	261	11分4秒	664	〃	2.54
100	6分6秒	366	11分5秒	665	〃	1.82
110	6分32秒	392	12分20秒	740	〃	1.89
115	6分58秒	418	12分12秒	732	〃	1.75
130	8分55秒	535	15分0秒	900	〃	1.68
140	9分53秒	593	16分40秒	1000	〃	1.69

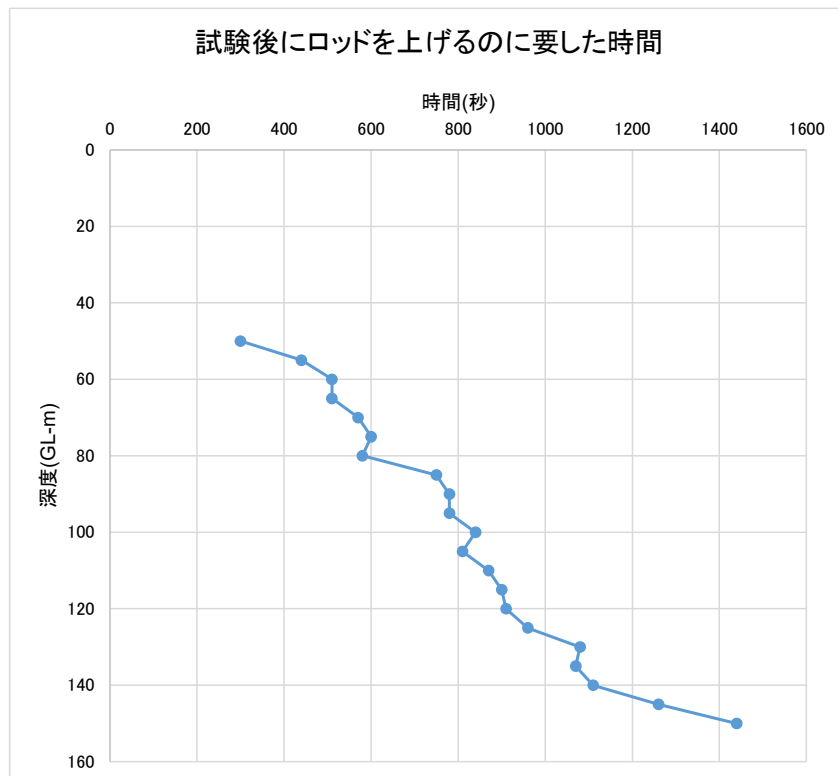
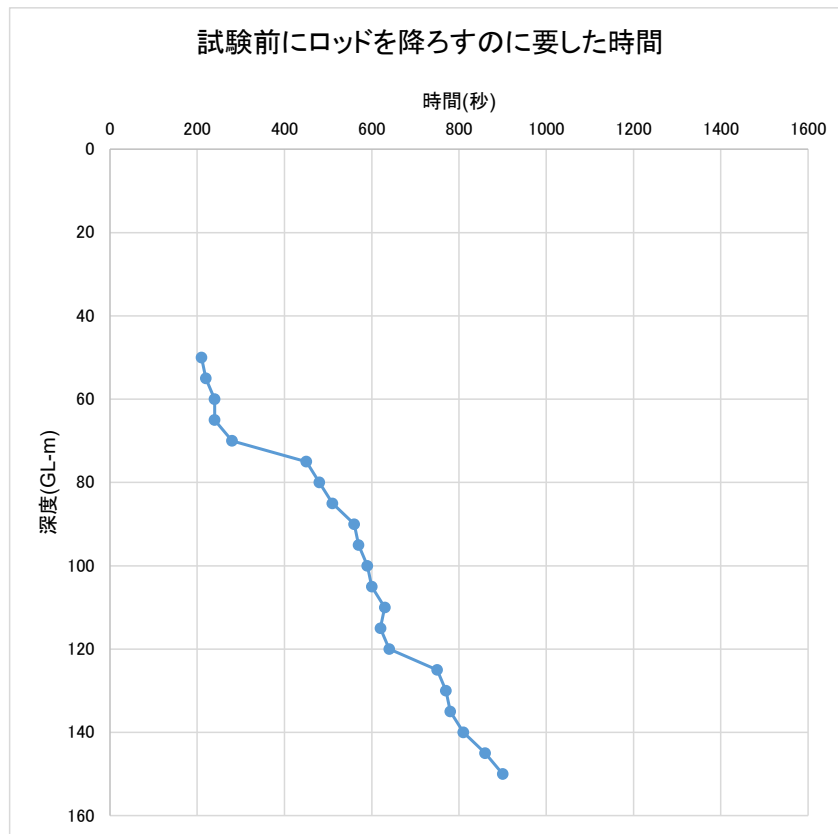


図- 4.2.1-1 深度別の昇降時間の推移 (事例 1)

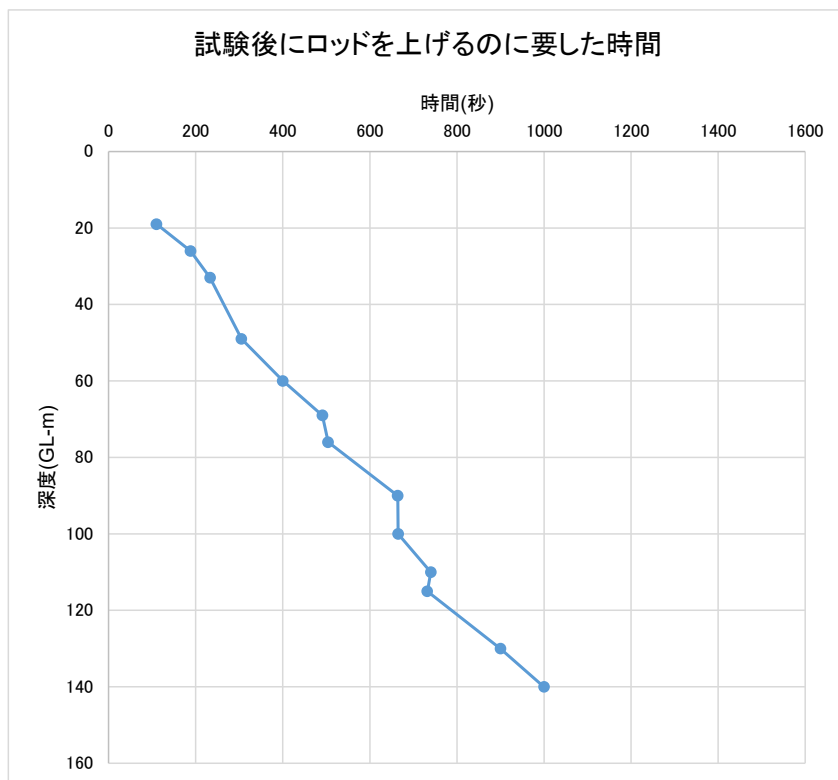
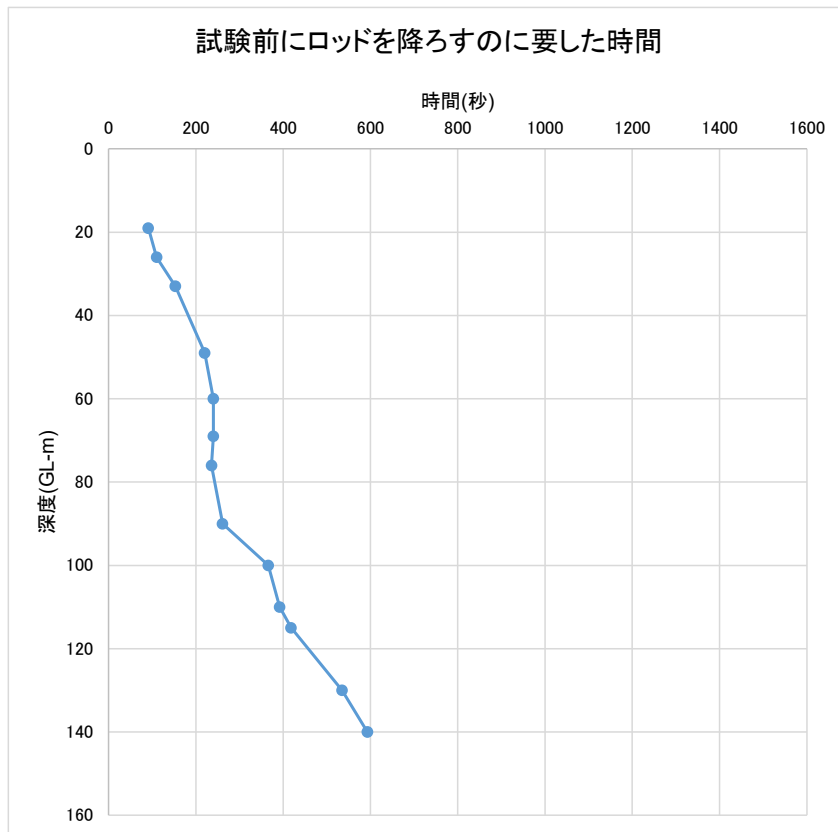


図- 4. 2. 1-2 深度別の昇降時間の推移 (事例 2)

4.2.2 試験深度と昇降時間の相関に関する分析

4.2.2.1 相関程度の確認

試験深度と昇降時間の相関の分析として、昇降時間について、2事例分のデータを集積した上で、切片0とした場合の線形近似式を推定した。

分析結果として、図-4.2.2.1-1に示すとおり、試験前（ロッドを降ろす）、試験後（ロッドを上げる）ともに決定係数 R^2 は0.9以上が得られ、両者の相関が非常に強いことが確認できた。このことから、深度が増すほどにそれにほぼ正比例の関係で昇降時間が長くなることが示せた。

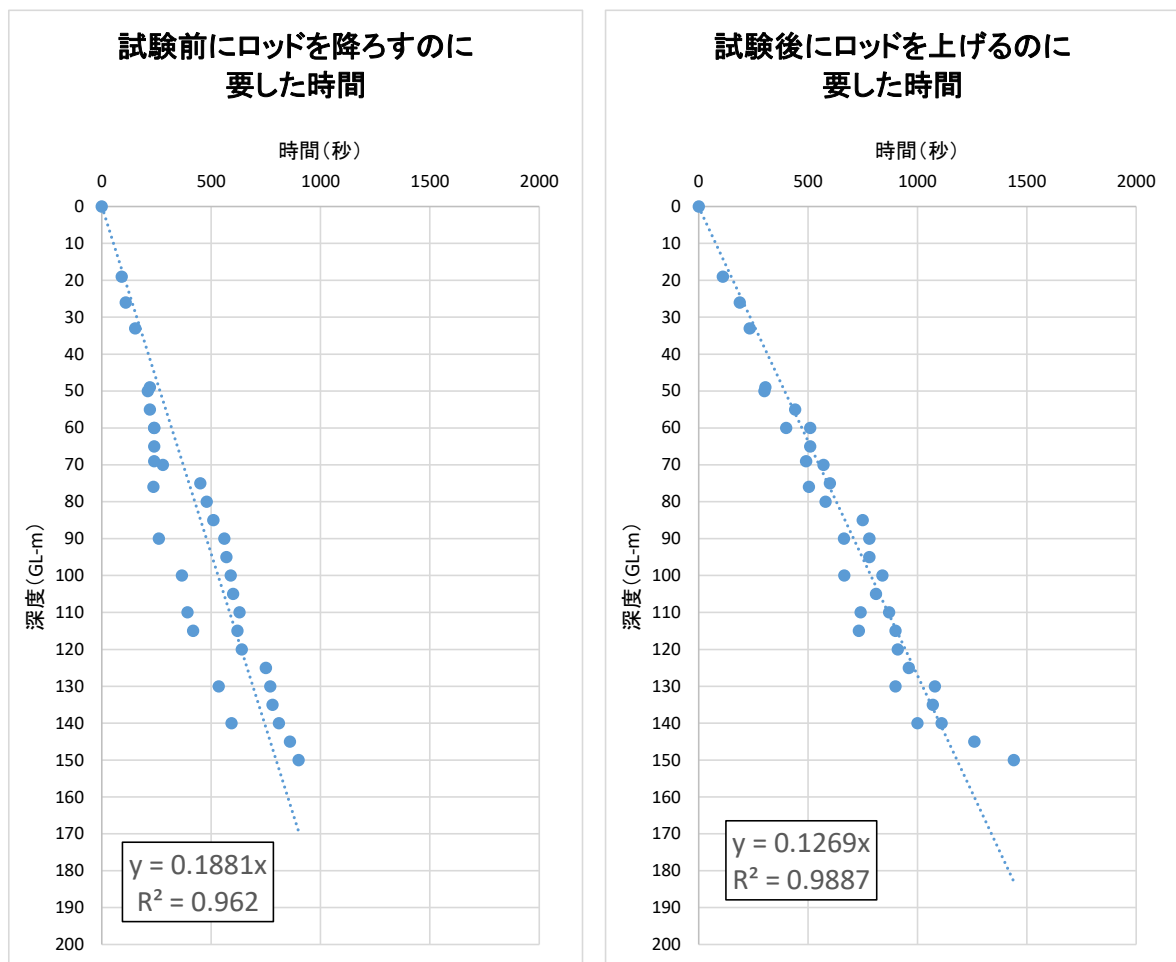


図- 4.2.2.1-1 深度別の昇降時間の推移（近似曲線入り）

4.2.2.2 増加程度の確認

4.2.2.1 で整理した昇降時間データについて、(一社) 全国地質調査業協会連合会が発行する「全国標準積算資料 土質調査・地質調査 令和2年度改訂歩掛版」で提案されている補正係数と対応する深度区間毎に昇降時間の平均値を算出し、昇降時間の増加程度を確認した。

確認の結果としては、図- 4.2.2.2-1 に示すとおり、試験前（ロッドを降ろす）、試験後（ロッドを上げる）ともに、単純に補正係数（1.25～1.75 倍、割増率で 25～75%）と比較すると、昇降時間の増加傾向の方が非常に大きいこと（2.3～4.3 倍、割増率で 130～330%）が確認できた。

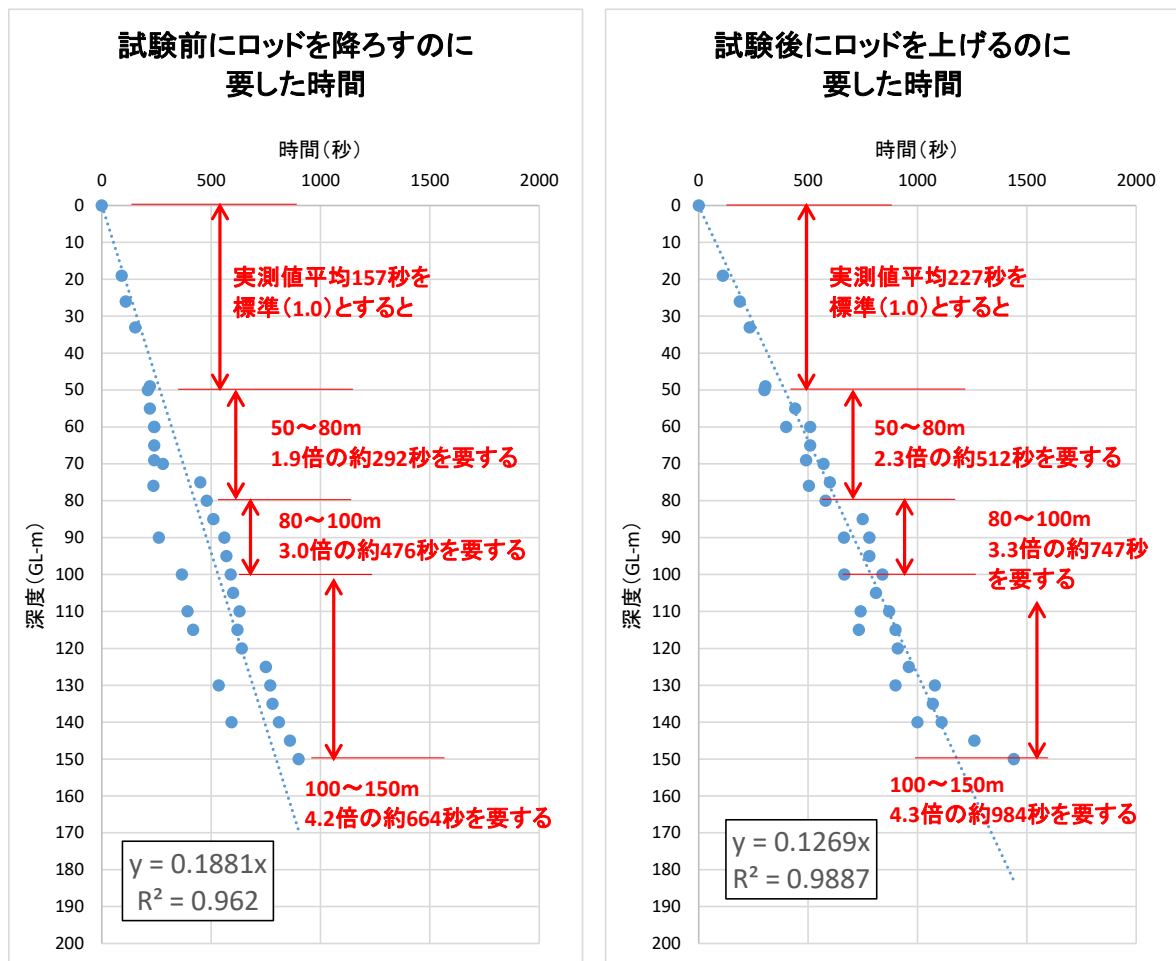


図- 4.2.2.2-1 深度別の昇降時間の推移（深度区間毎の増加程度追記）

4.3 まとめ

以下に本章で整理、検討した結果について、概要を示す。

- 4.1 節で示したとおり、(一社) 全国地質調査業協会連合会と国土交通省（旧建設系、旧運輸系とも）が発行または監修する積算基準図書等による標準貫入試験の調査費の試験深度に応じた補正方法について整理・検討した結果、試験深度の違いにより生じる実施時間（労務量）や費用への影響については、受発注者間でその認識に相違があることが認められる。
現状では、業務を請負い、試験を実施する受注者は、深度が増すほど負担増を感じ、費用について相応の補正が必要と考えている。一方、発注者はそうとは考えていない、あるいは、影響は小さいと認識していると考えられる。
- 標準貫入試験を実施する場合、試験深度が深くなるほど、ロッドの昇降時間は増大すると考えられる。
これに対して、4.2 節では、それらの相関、増加傾向を定量的に把握するため、WG メンバーが所属する会社で実際の業務として標準貫入試験を実施した際の昇降時間について、整理・分析した。
整理・分析の結果、試験深度が増すにつれて、それにほぼ正比例の関係で昇降時間が長くなるということが確認できた。
また、その増加傾向（割増率）について、(一社) 全国地質調査業協会連合会が発行する「全国標準積算資料 土質調査・地質調査 令和 2 年度改訂歩掛版」で提案されている補正係数と対比すると、昇降時間の増加傾向の方が非常に大きいことが確認できた。
- 今後は、受発注者間の認識の相違、積算上の補正と実際の昇降時間増加傾向の差を埋め、調査費の適正化を図るため、検証データの集積を進めつつ、発注者に対する働きかけを行うことが求められる。

<引用・参考文献>

- 1) (一社) 全国地質調査業協会連合会：全国標準積算資料 土質調査・地質調査 令和 2 年度改訂歩掛版、p.IV-81
- 2) 国土交通省大臣官房技術調査課：設計業務等標準積算基準書設計業務等標準積算基準書（参考資料）令和 4 年度版、第 2 編 地質調査業務、p.2-2-4
- 3) 国土交通省港湾局：港湾土木請負工事積算基準 令和 4 年度改訂版、第 3 編 土質調査業務、p.3-1-19

5 アンケート実施について

(一社) 全国地質調査業協会連合会現場環境改善委員会に所属する「N値の在り方」委員会(座長：中川)では、地質調査の代表であるボーリング調査の担い手となる機長、助手が置かれている現場環境の実態と要望について調べるため、アンケート調査を実施した。なお、本アンケートでは、現場管理を行う元請会社職員や地質調査会社の代表ではなく、現地作業に従事する機長、助手ならび個人事業主の機長、助手に直接アンケートを行うことにより、現場実態の真の把握につとめた。

5.1 アンケート実施内容・項目

アンケートの内容としては、対象となる地質調査業協会、ボーリング機長、助手とともに調査対象とする地盤の相違による専門性(土質・地質)や労働環境に関する以下の項目に加えて、最近話題のダイバーシティに関わる性別や年齢を基本とした事項についてアンケートを実施した。

- (1) 現場で大変なことは何でしょうか(カテゴリー選択：複数回答可)
- (2) 現場で危険と感ずることは何ですか(同上)
- (3) 作業中の雰囲気や雇用環境で思ふことは何ですか(同上)
- (4) 将来どう言うことをしたいですか(同上)
- (5) ボーリング調査で一番大変な作業は何ですか(択一)
- (6) 地質調査作業において望むことは何ですか(自由記述、大分類)

5.1.1 アンケート実施方法

アンケートの実施は、回答者の負担にならないようできる限り、回答がしやすく、かつ多くの項目を補えるよう携帯電話からの回答が可能な「Google Forms」を利用した。また、携帯電話利用になれておられない高齢者等への配慮として、紙ベースでのアンケートも併せて実施した。

実施に当たっては、(一社) 全国地質調査業協会連合会理事会においてアンケート参加希望があった4協会において、個別にアンケートを実施していただいた。

なお、実施期間は令和4年4月～9月の期間である。

5.2 アンケート結果

5.2.1 協会拠点・立場・年齢・専門別・性別・経験年数

今回アンケートを実施した協会は、(一社) 関東地質調査業協会、(一社) 関西地質調査業協会、(一社) 北陸地質調査業協会、(一社) 四国地質調査業協会の4団体である。

各団体に属する調査会社ならびに協力会社に Google Forms ならびにアンケート用紙によるアンケートに御協力いただいた。

まず基本事項として活動拠点、ボーリング機長であるか、助手であるかの立場、年齢、対象とする専門分野(軟弱地盤、岩盤等)そしてダイバーシティに関わる性別他を問いました。

5.2.1.1 回答数

対象となる協会は関東地質調査業協会 123 名、関西地質調査業協会 89 名、北陸地質調査業協会 99 名、四国地質調査業協会 42 名の合計 352 名を対象とした。

5.2.1.2 協会別の機長、助手の区別

全体で 352 名の方からの回答が得られた。内訳はボーリング機長が 236 名(67%)、助手が 116 名(33%)となっている。

各協会別の立場は表-5.2.1.2-1 に示したとおりである。概ね各協会ともに機長と助手の割合は 2:1 になっている。

表- 5.2.1.2-1 協会の拠点別の立場

	上段:度数 下段:%	あなたの立場		
		合計	機長	助手
協会の 拠点	全体	352 100%	236 67%	116 33%
	北陸	99 100%	64 64.6%	35 35.4%
	関東	123 100%	88 71.5%	35 28.5%
	関西	89 100%	59 66.3%	30 33.7%
	四国	41 100%	25 61%	16 39%

5.2.1.3 年齢

対象者の年齢は、機長では40歳以上が236名中187名と80%近くを占めている。一方助手は40歳未満が116名中66名と57%を占めている状況である。また全体でみても50歳以上が40%、40歳以上が67%を占めており、関係者の高齢化傾向が認められてきていると考えられる。

拠点別にみると、四国では60歳以上が24%とやや高い傾向がある。

表- 5.2.1.3-1 機長・助手の年齢構成

	上段:度数 下段:%	あなたの立場		
		合計	機長	助手
年齢	全体	352 100%	236 67%	116 33%
	30歳未満	60 100%	22 36.7%	38 63.3%
	30-39歳	55 100%	27 49.1%	28 50.9%
	40-49歳	93 100%	69 74.2%	24 25.8%
	50-59歳	98 100%	83 84.7%	15 15.3%
	60歳以上	46 100%	35 76.1%	11 23.9%

表- 5.2.1.3-2 拠点別機長・助手の年齢構成

	上段:度数 下段:%	年齢					
		合計	30歳未満	30-39歳	40-49歳	50-59歳	60歳以上
協会の拠点	全体	352 100%	60 17%	55 15.6%	93 26.4%	98 27.8%	46 13.1%
	北陸	99 100%	16 16.2%	18 18.2%	27 27.3%	25 25.3%	13 13.1%
	関東	123 100%	19 15.4%	20 16.3%	39 31.7%	32 26%	13 10.6%
	関西	89 100%	17 19.1%	13 14.6%	17 19.1%	32 36%	10 11.2%
	四国	41 100%	8 19.5%	4 9.8%	10 24.4%	9 22%	10 24.4%

5.2.1.4 拠点別の専門分野

拠点別の専門分野は、ノンコアボーリングならびに軟弱地盤等の未固結土を対象とする「土質」を専門とする機長・助手と、オールコアボーリング等の「地質」を専門とする機長・助手、さらに両者を専門とする機長・助手の3区分とした。全体ならび各協会拠点別の専門分野を表-5.2.1.4-1、

表-5.2.1.4-2に示した。

機長ならびに助手ともに「土質」及び「地質」の両方を専門としている割合が50%以上を占めている。次に「地質」を専門としている人の割合が全体の30%弱を占めている。

これらの傾向は対象とする4拠点に共通しており、「地質」のみを対象としたかたは北陸や関東にやや多く、四国に少ないことが明らかである。

発注者、元請会社からのニーズにより、「土質」「地質」の両方に対応している方が多いと考えられる。

表-5.2.1.4-1 専門分野の機長と助手の割合

上段: 下段:%		専門分野			
		合計	土質	地質	土質および地質
立場	全体	349 100%	64 18.3%	101 28.9%	184 52.7%
	機長	233 100%	46 19.7%	53 22.7%	134 57.5%
	助手	116 100%	18 15.5%	48 41.4%	50 43.1%

表-5.2.1.4-2 拠点別の専門分野割合

上段: 下段:%		専門分野			
		合計	土質	地質	土質および地質
協会の拠点	全体	349 100%	64 18.3%	101 28.9%	184 52.7%
	北陸	99 100%	8 8.1%	36 36.4%	55 55.6%
	関東	120 100%	26 21.7%	42 35%	52 43.3%
	関西	89 100%	19 21.3%	19 21.3%	51 57.3%
	四国	41 100%	11 26.8%	4 9.8%	26 63.4%

5.2.1.5 性別

ダイバーシティを考えるにおいて性別は非常に重要である。表- 5.2.1.5-1 に総括したが、地質調査ボーリング作業に関わる人材はほぼ男性であり、アンケートの中でも女性は 352 人中わずか 3 名 (0.6%) であった。

今後の地質調査業界の発展を考えるにあたって、担い手の確保についての大きな課題がここにあると考えられる。

表- 5.2.1.5-1 拠点別の男性、女性、その他の員数・割合

上段: 下		性別			
		合計	男性	女性	その他
協 会 の 拠 点	全体	352 100%	350 99.4%	2 0.6%	- -
	北陸	99 100%	98 99%	1 1%	- -
	関東	123 100%	122 99.2%	1 0.8%	- -
	関西	89 100%	89 100%	- -	- -
	四国	41 100%	41 100%	- -	- -

5.2.1.6 機長・助手の経験年数

機長では、経験年数 20 年以上の経験者が 56%を占めているのに対して、助手では 10%程度となっている。

一方、助手は 80%以上の方が 10 年未満ということで経験が少ない傾向がある。要因としては、機長に対して経験年数が少なく、助手から機長への役割の変化に伴い人材そのものが定着していないことも考えられる。

表- 5.2.1.6-1 機長と助手の経験年数

上段:度数 下段:%		機長の経験年数					
		合計	経験なし	10年未満	10-19年	20-29年	30年以上
立 場	全体	352 100%	83 23.6%	69 19.6%	55 15.6%	71 20.2%	74 21%
	機長	236 100%	1 0.4%	56 23.7%	46 19.5%	69 29.2%	64 27.1%
	助手	116 100%	82 70.7%	13 11.2%	9 7.8%	2 1.7%	10 8.6%

助手の経験年数は、3年未満が50%程度を示しており、経験が浅いことが特徴である。助手の仕事の定着を含めて、魅力ある業界にしていく必要がある。

機長の経験年数 × 協会の拠点

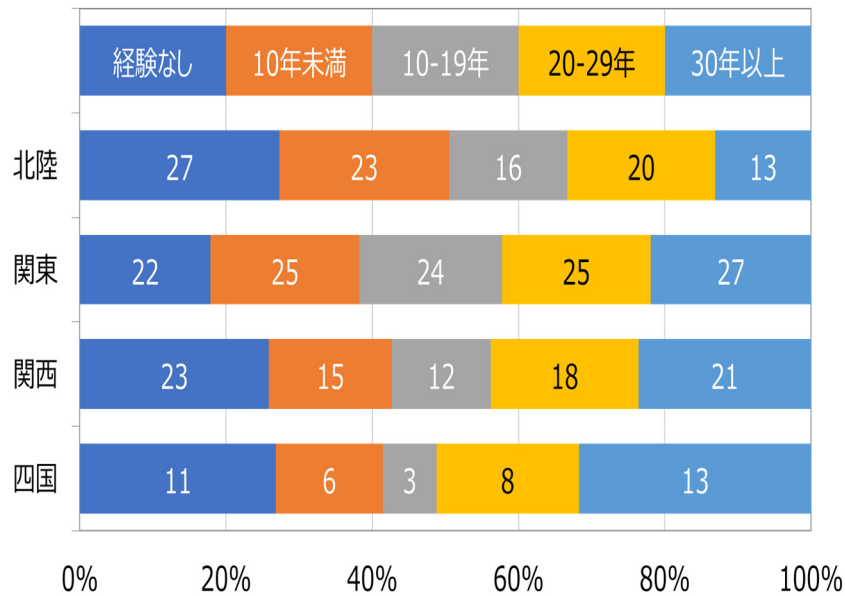


図- 5.2.1.6-1 機長の拠点毎の年齢別経験年数

助手の経験年数 × 協会の拠点

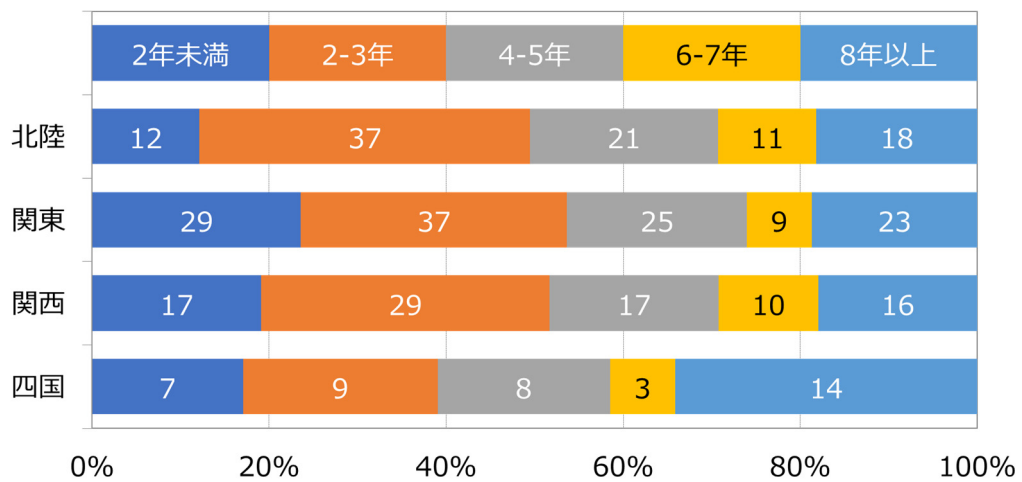


図- 5.2.1.6-2 助手の拠点別経験年数の割合

5.2.2 現場作業で大変なこと

現場作業で大変なこととして、10項目（その他を含む）を抽出し複数回答可能な方式でのアンケートを実施した。この結果について、機長と助手に区分して、拠点毎の選択肢の該当率を整理して表-5.2.2-1に示した。

その結果、最も意見が多かったのは、「現場が季節・天候に影響され厳しい」ということであつた。いずれの拠点、立場でも最も多い結果であり6割から8割の方々が大変と感じていることが明らかになった。

次に多かったのは、「体力・健康に気遣う」ということであつた。表-5.2.2-2には年齢別のアンケート結果を示したが、特に50歳以上のかたに多い結果となつた。

また機長、助手ともに「機械油、泥水等を扱うため汚い」、「掘削制御動作や泥水管理は経験が必要」と思っている人が多いことも明らかになった。

なお、当委員会が検討テーマとして扱っている『標準貫入試験』に関しては、多くの方が「手間がかかる」とは思っていないという結果となっている。

表-5.2.2-1 立場・拠点別の「現場で大変なこと」の割合

上段:現場作業で大変なこと(複数回答可)													
下段:%	合計	作業時間が長い	現場が季節・天候に影響され厳しい	体力・健康に気をつかう	資材が重い	資材が多く、わずらわしい	標準貫入試験の作業には手間がかかる	ポーリング機械の操作が複雑である	機械油、泥水などを扱うため汚い	掘削制御動作や泥水管理は経験が必要	その他		
												合計	割合
あなたの立場×協会の拠点	機長	合計	350	50	278	185	164	83	52	24	140	178	29
			100%	14.3%	79.4%	52.9%	46.9%	23.7%	14.9%	6.9%	40%	50.9%	8.3%
	北陸	小計	234	29	197	122	107	52	38	6	85	121	18
			100%	12.4%	84.2%	52.1%	45.7%	22.2%	16.2%	2.6%	36.3%	51.7%	7.7%
		北陸	64	10	59	30	25	16	14	3	24	36	3
			100%	15.6%	92.2%	46.9%	39.1%	25%	21.9%	4.7%	37.5%	56.3%	4.7%
		関東	86	11	71	49	48	24	14	3	35	52	-
			100%	12.8%	82.6%	57%	55.8%	27.9%	16.3%	3.5%	40.7%	60.5%	-
		関西	59	5	46	28	23	12	7	-	19	27	2
			100%	8.5%	78%	47.5%	39%	20.3%	11.9%	-	32.2%	45.8%	3.4%
	四国	25	3	21	15	11	-	3	-	7	6	13	
		100%	12%	84%	60%	44%	0%	12%	0%	28%	24%	52%	
	助手	小計	116	21	81	63	57	31	14	18	55	57	11
			100%	18.1%	69.8%	54.3%	49.1%	26.7%	12.1%	15.5%	47.4%	49.1%	9.5%
北陸		35	9	27	21	20	13	6	11	17	18	3	
		100%	25.7%	77.1%	60%	57.1%	37.1%	17.1%	31.4%	48.6%	51.4%	8.6%	
関東		35	5	26	20	18	9	5	4	14	21	1	
		100%	14.3%	74.3%	57.1%	51.4%	25.7%	14.3%	11.4%	40%	60%	2.9%	
関西	30	4	18	15	14	7	1	-	16	11	-		
	100%	13.3%	60%	50%	46.7%	23.3%	3.3%	-	53.3%	36.7%	-		
四国	16	3	10	7	5	2	2	3	8	7	7		
	100%	18.8%	62.5%	43.8%	31.3%	12.5%	12.5%	18.8%	50%	43.8%	43.8%		

表-5.2.2-2 年齢別「現場で大変なこと」の割合

上段:度数		現場作業で大変なこと(複数回答可)										
下段:%	合計	作業時間が長い	現場が季節・天候に影響され厳しい	体力・健康に気をつかう	資材が重い	資材が多く、わずらわしい	標準貫入試験の作業には手間がかかる	ポーリング機械の操作が複雑である	機械油、泥水などを扱うため汚い	掘削制御動作や泥水管理は経験が必要	その他	
												合計
年齢	全体	350	50	278	185	164	83	52	24	140	178	29
		100%	14.3%	79.4%	52.9%	46.9%	23.7%	14.9%	6.9%	40%	50.9%	8.3%
	30歳未満	59	8	38	24	22	16	5	8	34	28	3
		100%	13.6%	64.4%	40.7%	37.3%	27.1%	8.5%	13.6%	57.6%	47.5%	5.1%
	30-39歳	55	6	46	28	25	14	9	6	25	29	4
		100%	10.9%	83.6%	50.9%	45.5%	25.5%	16.4%	10.9%	45.5%	52.7%	7.3%
	40-49歳	93	11	76	50	52	25	18	5	27	48	6
		100%	11.8%	81.7%	53.8%	55.9%	26.9%	19.4%	5.4%	29%	51.6%	6.5%
50-59歳	97	16	78	58	41	22	13	4	39	50	11	
	100%	16.5%	80.4%	59.8%	42.3%	22.7%	13.4%	4.1%	40.2%	51.5%	11.3%	
60歳以上	46	9	40	25	24	6	7	1	15	23	5	
	100%	19.6%	87%	54.3%	52.2%	13%	15.2%	2.2%	32.6%	50%	10.9%	

5.2.3 現場で危険と感ずること

現場作業で危険と感ずることについて、7項目（その他を含む）を抽出し複数回答可能な方式でのアンケートを実施した。その結果を、表-5.2.3-1に示した。

最も多かったのが「巻き上げ機等の回転部に巻き込まれる危険」であり、全体の6割の方が危険意識をもっている。クレーン作業等の重量物の巻き上げやスピンドル動作を含めて回転機器を取り扱う際に感ずる危険意識であると考えられる。

次に多いのが「三またやぐら、斜面地等からの転落する危険」、「ロッドホルダー、パイプレンチ等で指を挟まれる危険」であり、およそ55%の方が該当すると答えている。また「重量物の人力等の運搬中の危険」「仮設作業時に工具等で手指を傷めたり、高所から転落する危険」等も該当率は高く、作業ならびに作業環境全体にわたり厳しい条件であることを示している。

表- 5.2.3-1 現場で危険と感ずること

No.	カテゴリ	件数	(全体)%
1	三またやぐら、斜面地などからの転落する危険	199	56.5
2	巻き上げ機等の回転部に巻き込まれる危険	214	60.8
3	ロッドホルダー、パイプレンチ等で指を挟まれる危険	193	54.8
4	重量物（ハンマー、マシン、ケーシング、コア箱等）の人力運搬中の危険	187	53.1
5	クレーン作業時に吊り荷の下敷きになったり、ぶれて接触する危険	136	38.6
6	仮設作業（足場組立、モルルール仮設等）時に工具で手指を傷めたり、高所から転落する危険	187	53.1
7	その他	6	1.7
	不明	0	0.0
	N（%へ-λ）	352	100

拠点毎、立場毎の結果では、やや傾向がことになってきている。その結果を表-5.2.3-2に示した。

機長は主に「巻き上げ機等の回転部に巻き込まれる危険」を感じているが、助手は地域によりばらつきがあるものの「三またやぐら、斜面地等からの転落する危険」を感じる人が多いということが明らかになった。

いずれにしても、具体的な項目にあげた6項目については該当率が高く、立場、拠点を問わず現場において危険としてとらえられていることを示している。

表- 5.2.3-2 立場・拠点別現場での危険作業の項目別割合

		上段: 現場で危険と感ずること (複数回答可)								
あなた の 立場 × 協会 の 拠点	下 段:%	合計	三またやぐら、 斜面地などから の転落する危険	巻き上げ機等 の回転部に巻 き込まれる危険	ロッドホルダー、 パイプレンチ等 で指を挟まれる 危険	重量物 (ハン マー、マシン、 ケーシング、コア 箱等) の人力 運搬中の危険	クレーン作業時 に吊り荷の下 敷きになった り、ぶれて接触 する危険	仮設作業 (足 場組立、モノ レール仮設 等) 時に工具 で手指を傷め たり、高所から 転落する危険	その他	
			合計							
あなた の 立場 × 協会 の 拠点	機長	合計	352 100%	199 56.5%	214 60.8%	193 54.8%	187 53.1%	136 38.6%	187 53.1%	6 1.7%
	機長	小計	236 100%	123 52.1%	148 62.7%	131 55.5%	122 51.7%	88 37.3%	125 53%	4 1.7%
	機長	北陸	64 100%	34 53.1%	38 59.4%	33 51.6%	35 54.7%	21 32.8%	32 50%	2 3.1%
	機長	関東	88 100%	49 55.7%	59 67%	56 63.6%	50 56.8%	43 48.9%	48 54.5%	1 1.1%
	機長	関西	59 100%	25 42.4%	41 69.5%	31 52.5%	27 45.8%	18 30.5%	30 50.8%	1 1.7%
	機長	四国	25 100%	15 60%	10 40%	11 44%	10 40%	6 24%	15 60%	-
	機長	小計	116 100%	76 65.5%	66 56.9%	62 53.4%	65 56%	48 41.4%	62 53.4%	2 1.7%
	助手	北陸	35 100%	26 74.3%	20 57.1%	16 45.7%	19 54.3%	11 31.4%	20 57.1%	-
	助手	関東	35 100%	25 71.4%	24 68.6%	26 74.3%	20 57.1%	16 45.7%	16 45.7%	-
	助手	関西	30 100%	18 60%	13 43.3%	13 43.3%	19 63.3%	13 43.3%	17 56.7%	2 6.7%
	助手	四国	16 100%	7 43.8%	9 56.3%	7 43.8%	7 43.8%	8 50%	9 56.3%	-

5.2.4 作業中の雰囲気や雇用環境で思うこと

作業中の雰囲気や雇用環境で思うことについて 6 つの項目（その他を含む）を抽出し複数回答可能な方式でのアンケートを実施した。

意見として最も多かったのは「給料が安い」ことである。次いで「仕事量が多い」「出張が多い」という意見も多く、「給料が安い」こととの兼ね合いで該当率が高くなっている可能性がある。

一方、その他の気になる点としては、「ハラスメント（嫌がらせ等の身体的、精神的な攻撃）がある」についても 10%以上の回答が得られている点である。コンプライアンス重視を考えると、雇用や対策を含めた抜本施策が必要である。

表- 5.2.4-1 作業中の雰囲気や環境について

No.	カテゴリ	件数	(全体)%
1	ハラスメント（嫌がらせ等の身体的・精神的な攻撃）がある	40	11.4
2	コミュニケーションが不足している	113	32.1
3	給料が安い	166	47.2
4	仕事量が多い	132	37.5
5	出張が多い（休暇が不定期）	93	26.4
6	その他	37	10.5
	不明	2	0.6
	N（% [^] -λ）	352	100

表- 5.2.4-2 立場・拠点別の作業中の雰囲気・雇用環境で思うこと

		上段: 作業中の雰囲気や雇用環境で思うこと（複数回答可）							
下段:%		合計	ハラスメント （嫌がらせ等 の身体的・精 神的な攻撃） がある	コミュニケーシ ョンが不足してい る	給料が安い	仕事量が多い	出張が多い （休暇が不定 期）	その他	
			合計	350 100%	40 11.4%	113 32.3%	166 47.4%	132 37.7%	93 26.6%
あ な た の 立 場 × 協 会 の 拠 点	機長	小計	234 100%	26 11.1%	80 34.2%	118 50.4%	85 36.3%	68 29.1%	16 6.8%
		北陸	62 100%	7 11.3%	22 35.5%	38 61.3%	24 38.7%	18 29%	1 1.6%
		関東	88 100%	11 12.5%	34 38.6%	46 52.3%	40 45.5%	22 25%	5 5.7%
		関西	59 100%	7 11.9%	17 28.8%	25 42.4%	16 27.1%	18 30.5%	4 6.8%
		四国	25 100%	1 4%	7 28%	9 36%	5 20%	10 40%	6 24%
		小計	116 100%	14 12.1%	33 28.4%	48 41.4%	47 40.5%	25 21.6%	21 18.1%
	助手	北陸	35 100%	8 22.9%	7 20%	18 51.4%	16 45.7%	13 37.1%	1 2.9%
		関東	35 100%	5 14.3%	13 37.1%	14 40%	14 40%	5 14.3%	7 20%
		関西	30 100%	1 3.3%	8 26.7%	11 36.7%	10 33.3%	5 16.7%	10 33.3%
		四国	16 100%	-	5 31.3%	5 31.3%	7 43.8%	2 12.5%	3 18.8%

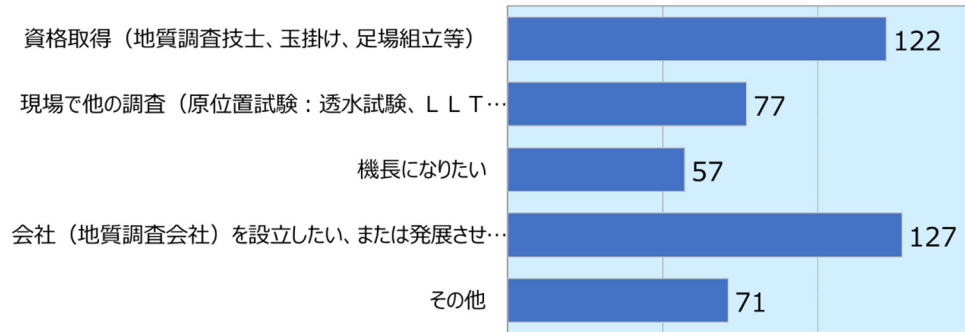
表- 5.2.4-3 専門別・拠点別でも作業中の雰囲気・雇用環境

		上段: 作業中の雰囲気や雇用環境で思うこと (複数回答可)							
		下 段:%	合計	ハラスメント (嫌がらせ等 の身体的・精 神的な攻撃) がある	コミュニケーショ ンが不足してい る	給料が安い	仕事量が多い	出張が多い (休暇が不定 期)	その他
専門分野×協会の拠点	合計		347 100%	39 11.2%	112 32.3%	164 47.3%	131 37.8%	93 26.8%	37 10.7%
	小計		64 100%	4 6.3%	23 35.9%	29 45.3%	29 45.3%	18 28.1%	6 9.4%
	北陸		8 100%	-	3 37.5%	3 37.5%	5 62.5%	-	-
	関東		26 100%	4 15.4%	11 42.3%	12 46.2%	14 53.8%	8 30.8%	2 7.7%
	関西		19 100%	-	5 26.3%	10 52.6%	6 31.6%	7 36.8%	1 5.3%
	四国		11 100%	-	4 36.4%	4 36.4%	4 36.4%	3 27.3%	3 27.3%
	小計		101 100%	18 17.8%	36 35.6%	52 51.5%	38 37.6%	21 20.8%	8 7.9%
	北陸		36 100%	7 19.4%	10 27.8%	19 52.8%	13 36.1%	11 30.6%	1 2.8%
	関東		42 100%	8 19%	18 42.9%	24 57.1%	21 50%	6 14.3%	4 9.5%
	関西		19 100%	2 10.5%	5 26.3%	9 47.4%	4 21.1%	3 15.8%	3 15.8%
	四国		4 100%	1 25%	3 75%	-	-	1 25%	-
	小計		182 100%	17 9.3%	53 29.1%	83 45.6%	64 35.2%	54 29.7%	23 12.6%
	北陸		53 100%	8 15.1%	16 30.2%	34 64.2%	22 41.5%	20 37.7%	1 1.9%
	関東		52 100%	3 5.8%	17 32.7%	22 42.3%	18 34.6%	13 25%	6 11.5%
	関西		51 100%	6 11.8%	15 29.4%	17 33.3%	16 31.4%	13 25.5%	10 19.6%
	四国		26 100%	-	5 19.2%	10 38.5%	8 30.8%	8 30.8%	6 23.1%

5.2.5 将来どう言うことをしたいか

将来したいことに対して、その他を含めて5項目を抽出し、複数回答可能な方式でのアンケートを実施した。その結果、「会社を設立したい」、「資格を取得したい」という意見が特に多かった。特に機長は、会社を設立したい、すなわち独立したいと考えている傾向が強い。一方、助手は資格を取得したい、機長になりたいと考えている傾向が強い。

将来どういうことがしたいか（複数回答可）



- ・ 機長は、「会社（地質調査会社）を設立したい、または発展させたい」を最も多く選択し、助手は、「資格取得（地質調査技士、玉掛け、足場組立等）」を最も多く選択していた。

図- 5.2.5-1 将来についての希望

表- 5.2.5-1 立場・拠点別将来についての希望

上段:		将来どういうことがしたいか（複数回答可）						
あなた の 立場 × 協会 の 拠点	下 段: %	合計	資格取得（地質調査技士、玉掛け、足場組立等）	現場で他の調査（原位置試験：透水試験、LLT等）の技術を学びたい	機長になりたい	会社（地質調査会社）を設立したい、または発展させたい	その他	
	合計	351 100%	122 34.8%	77 21.9%	57 16.2%	127 36.2%	71 20.2%	
機長	小計	235 100%	54 23%	47 20%	3 1.3%	98 41.7%	59 25.1%	
	北陸	63 100%	16 25.4%	13 20.6%	-	28 44.4%	11 17.5%	
	関東	88 100%	22 25%	18 20.5%	3 3.4%	38 43.2%	24 27.3%	
	関西	59 100%	8 13.6%	13 22%	-	24 40.7%	16 27.1%	
	四国	25 100%	8 32%	3 12%	-	8 32%	8 32%	
	小計	116 100%	68 58.6%	30 25.9%	54 46.6%	29 25%	12 10.3%	
	北陸	35 100%	17 48.6%	10 28.6%	19 54.3%	7 20%	6 17.1%	
助手	関東	35 100%	24 68.6%	12 34.3%	15 42.9%	11 31.4%	2 5.7%	
	関西	30 100%	18 60%	7 23.3%	12 40%	8 26.7%	4 13.3%	
	四国	16 100%	9 56.3%	1 6.3%	8 50%	3 18.8%	-	
	小計	116 100%	68 58.6%	30 25.9%	54 46.6%	29 25%	12 10.3%	

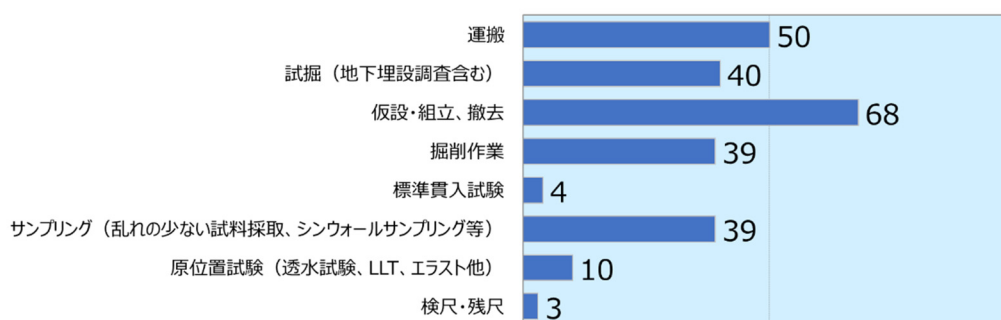
5.2.6 ボーリング調査で一番大変なこと

「ボーリング調査で一番大変な作業は何か（8項目のうち、1つだけ選択）」としたアンケートについては、図-5.2.6-1に示すような結果となった。このアンケートの結果については、ボーリング作業の中で最も、手間のかかる作業を示すものと考えられる。

結果は「仮設、組立、撤去」であり、次に「運搬」「試掘」である。すなわち作業の主である掘削作業そのものよりも、掘削にいたるまでの作業、掘削が終了し撤去するところに調査作業の大変さが集約されることが明らかになった。

なお、当委員会が検討テーマとして扱っている『標準貫入試験』に関しては、さほど大変さ作業と思っていないという結果になっている。

ボーリング調査で一番大変な作業（1つだけ選択）



- 最も多かった「一番大変な作業」は「仮設・組立、撤去」で、その次は「運搬」であった。
- これは、立場や年齢等別に見ても似た傾向にある。
- このように大変だと思っている作業を自動化・機械化できると現場の改善につながるのではないかと。

図- 5.2.6-1 ボーリング調査で一番大変な作業について

5.2.7 地質調査作業において望むこと

本設問は、自由記述形式アンケートを実施した収集した。結果については、自由記述の内容をキーワード毎に分類し整理した。その結果を表-5.2.7-1に整理した。

最も多かったのは、労働環境の改善に関する要望（表中青色塗り）であり、同じく金銭面のアップに関する要望（表中黄色塗り）がいずれも全体の13%あまりを占めた。また安全性や機械の改善・技術革新の必要性に関する意見（表中赤色塗り）についても一定の意見が寄せられた。

表- 5.2.7-1 地質調査作業において望むこと

No.	カテゴリ	件数	(全体)%
1	単価UP	21	6.0
2	適正な対価	16	4.5
3	業界の価値向上・認知度UP	16	4.5
4	賃上げ	13	3.7
5	作業の簡易化・改善	12	3.4
6	機械の改善・技術革新	10	2.8
7	若手の確保・活躍できる環境づくり	10	2.8
8	休憩・休暇の確保	9	2.6
9	安全性	8	2.3
10	仕事の安定性	7	2.0
11	技術の向上	5	1.4
12	その他の労働環境の改善	15	4.3
13	その他	10	2.8
	不明	217	61.6
	N (%への入)	352	100

5.3 アンケート結果のまとめ

本アンケートには、全国のボーリング作業従事者（概ね 3800 名）の内のおよそ 1 割の方に参加していただいた。2022 年 4 月～9 月の短期間でアンケート期間は拠点により異なるがおよそ 1 カ月とした。

実施拠点である関西、四国、北陸、関東での地質調査、ボーリング調査作業に関わる現場技術者からの声は、地質調査業協会が改善していくべき課題を指摘していると考えられる。アンケート結果からは、作業現場環境の厳しさを含め多くの課題が浮き彫りになってきたと考えられる。

特に機長の高年齢化とともに、助手の定着率の低さ、そして作業者の大半が男性という、おおよそダイバーシティとかけ離れた労働環境、作業環境を大きく改善していかななくてはならない。

また、アンケート結果により改めて明らかになった「現場が季節・天候に影響され厳しい」「体力・健康に気を遣う」といった問題意識は、少子高齢化、高度デジタル時代にあわない人と現場環境の根幹に関わる労働環境に関する課題を指摘しており、作業環境や調査機器が変化しないかぎり、適正な単価への反映をもって対応していかなければならない。また「機械油、泥水等を扱うため汚い」「掘削制御動作や泥水管理の経験の必要性」といった問題については、今後自動化、ロボット化で対応できていくことが可能な領域とも考えられる。

一方、現場には「回転部の巻きこみ」「高所からの転落」「重量物の運搬」「仮設作業や道具による指を挟まれる」といった危険が各所に内在しており、上述した作業環境に関する課題以上に自動化、ロボット化を含めた根本的なハード対策が必要である。

さらに作業中の雰囲気や雇用環境に関する意見としては、現状の賃金が仕事量や出張の頻

度等に対する対価として見合っていないという意見が多く得られた。また、機長と助手の2名でハラスメントが発生していることにも、注目しておかないといけない。この要因としては時代環境の変化の中で、年齢差による価値観の相違や、教育的観点の違いがあげられる。助手から機長への徒弟制度的な考え方の古臭さが、時代にマッチしていないとも考えられる。

将来への希望については、現場技術や資格の取得、機長としての主体的な活躍、会社設立といったキャリア形成が確立されている。会社設立により社会的な地位の向上が必要である。

ボーリング作業で最も大変なことは「仮設・組み立て・撤去」「運搬」「試掘」であり、掘削本業ではないことも明らかになった。そのような負担となる「仮設・組み立て・撤去」や「運搬」等の掘削外作業については、まずは当面の間、単価価値をさらに向上させるとともに、自動化をすすめ、負担軽減を実現する必要がある。そうしない限り、地質調査業界自体が魅力あるものとならず、更なる担い手不足の要因になる。

地質調査作業に望まれることとしては、金銭面を含む待遇・労働環境の改善が挙げられる。また、これらの課題をカバーするように作業・技術の改善が急伸することが必要となってきた。

6 標準貫入試験に代わる自動貫入試験の可能性と土質地盤の調査法の在り方

6.1 何故、ボーリングマシンの技術革新が起こらないか

土質地盤のボーリング調査の風景画が、土木学会誌の表紙（2021年11月）に掲載されていたので図-6.1-1に引用した。この図をよく見てみると、昭和時代（40～50年前）のボーリング調査の現場環境とほとんど変わっていない。

それでは、なぜ変わっていないか自問してみると、「昭和当時に既に完成されたマシンであるので、これ以上の進化は必要ない」等という完全な言い訳を思いつく。それでは、ボーリングマシンの自動化等の技術革新を阻んでいる何かがあるに違いないと発想を変えてみる。その可能性は、深度1m毎に実施する標準貫入試験を伴う土質地盤のボーリング調査法の問題が一因であることに思い当たる。これを改善しない限り、未来永劫、ボーリング作業環境の改善はありえない（3K（きつい、汚い、きけん）を脱却できない）。

それでは、具体的に標準貫入試験の器具や方法をみていくこととする。標準貫入試験は、JIS A 1219 で、使用機材や試験方法が、事細かく規定されている。一般的な土質地盤の調査では、標準貫入試験は深度1m毎に実施されるので、その度にコアチューブとSPTサンプラーを入れ替える必要がある。この作業があることにより、現状の標準貫入試験を主体としたボーリング調査の自動化による技術革新は困難であると考えられる。



図- 6.1-1 土木学会誌の表紙



図- 6.1-2 標準貫入試験の風景

6.2 標準貫入試験に代わる自動貫入試験の可能性（孔内打撃 SPT 等）

標準貫入試験（SPT）に代わる自動貫入試験の可能性を検討した。まず、浅層用ワイヤーライン方式孔内打撃 SPT なるものが考えられる。この装置のイメージは次のとおりである（図-6.2-1²⁾ 参照）

- ・ SPT 装置の孔底での脱着、回収はワイヤーラインを使用し効率化を図る。
- ・ 孔内で打撃貫入させる（ダウンザホールハンマーあるいは水圧）。
- ・ 例えば、SPT と同じエネルギーを与え、その時の貫入量より N 値を推定する。
- ・ 難点は、既存のボーリングマシンが使用できない等、導入コストが高いことがあげられる。

ボーリング併用の自動大型コーン貫入試験も考えられる。大型コーン貫入試験は、既に自動化されているので、貫入能力不足を補うために、支持層確認の目的でボーリング併用が必要となる。また、トルク測定や先端エネルギーの測定によるロッド周面摩擦の補正が必要となる。また、大型コーン貫入試験だけでは、地盤の固さは把握できるが、土質判別が困難であるので、ピエゾドライブコーン(PDC)³⁾のような間隙水圧の測定等付加価値を付けることが必要となる。

更に、計測ボーリング（軸力、トルク、回転数等測定）⁴⁾がすでに開発されているが、作業効率が格段にアップするものの、標準貫入試験よりも物性評価に対する信頼性は劣っている。このようにみえてくると、自動貫入試験の開発は相当敷居が高いことになる。



図- 6.2-1 ダウンザホールハンマイメージ図

次に、標準貫入試験に代わる自動貫入試験として電気式コーン貫入試験(CPT)を考えてみる。

CPTによる強度評価は、粘性土の場合、補正コーン貫入抵抗 q_t を基に粘着力 c を算定する。ただし、 c への換算には M_{kt} を現場毎に決める必要があり、代表地点でボーリングによるサンプリング、土質試験と CPT の結果を対比、検討する必要がある。砂質土の場合は、Lunne&Christophersen (q_t/σ_{v0}' とせん断抵抗角の関係) 5)等により評価する。

CPTによる土質区分は、ロバートソンによる土質分類チャートを用い(図-6.2-2参照) 6)、 q_t 、 u 、周面摩擦から土質区分できる。ただし、日本の地盤用に見直しが必要と考えられる。

施工のハード面を考えると、海上では CPT が適用しやすい。海上足場を反力とし、ボーリングマシンを用いると SPT と併用できる。最近では、洋上風力の地盤調査に積極的に活用されている。陸上では、現場が狭いエリアが多く、大型の反力が使用できない。また、地下埋設物のため地中での反力を取るのには困難である。また、日本国内の平野部では、表層部に砂質土が分布することが多く、その貫入がなかなか困難である。大型の CPT を用いることが出来ないので、支持層の層厚を確認することも困難である。施工面から判断すると、CPT は海上においては日本での標準的な調査法になり得るが、陸上での使用は困難であると判断される。

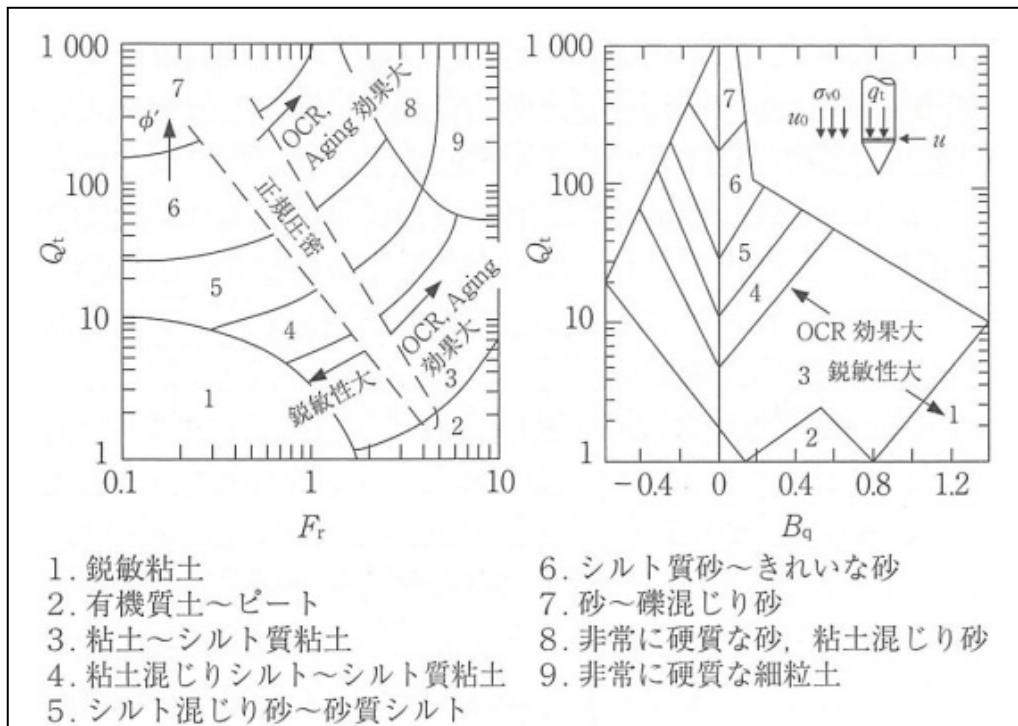


図- 6.2-2 Robertsonによる土質分類チャート

6.3 土質地盤の地盤調査法の在り方

土質地盤を対象にしたボーリング調査は標準貫入試験を中心に行われているが、地質の詳細な把握、サンプリングや原位置試験等による詳細な物性評価が必ずしも十分に行われているとは言いがたい。このような実態を把握するために、(一社)全国地質調査業協会連合会ではボーリング調査発注タイプ毎の動向調査を行った(詳しくは第3章を参照)。その結果、ボーリング1孔(本孔)のみで、標準貫入試験、サンプリング、原位置試験を実施した業務は約

30～33%、ボーリング本孔で標準貫入試験を行い、別孔でサンプリング、原位置試験を実施した業務は 12～20%であった（最近では増加傾向）。地盤の物性を正しく評価するためには、サンプリングや原位置試験は別孔とし、地層の特徴と物性値を直接比較することが必要である。

一方、「6.1 章」で述べたように、ボーリングマシンは過去 40～50 年以上ほとんど変化しておらず、地盤改良分野ではマシンの自動化が進んでいるのに比べ、自動化の進捗はほとんどない。このことは、現場作業の非効率化や重労働から相変わらず解放されない大きな理由となっている。土質地盤でのボーリングマシンの自動化を最も困難としている一因は、深度 1m 毎に実施される標準貫入試験であると考えられる。標準貫入試験は、コアチューブによる掘削作業に続き、SPT サンプラーの孔内への出し入れ、ハンマーの巻上げや落下の作業があり、これらの作業を組んだマシンの自動化はほぼ不可能である。

以上のような現状を踏まえると、ボーリング調査法の新たな展開として図- 6.3-1 のような取り組みが将来的に考えられる。まず、ボーリング調査は、本孔（地質確認ボーリング）と別孔（物性評価ボーリング）を切り離して実施する。調査に際しては地質確認ボーリングを先行させ、オールコアリングを行うことで正確な地質状況を把握する。地質確認ボーリングはコアを採取することに専念すればよいので、ボーリングマシンの自動化が進む可能性が高く、ボーリング現場作業の重労働の改善に寄与できる（現状、既に自動ボーリングマシンや半自動ボーリングマシンのプロトタイプが製作されている）。また、熟練技術者に頼る必要がなくなり、現場作業員不足対策にも期待ができる。物性評価ボーリングは、コアは採取せず、サンプリング、原位置試験に特化するので、従来のボーリングマシンを用いて熟練技術者が対応することになる。地盤物性を正しく評価できれば経済的な構造物設計に寄与でき、性能設計にも柔軟に対応出来る。なお、標準貫入試験は物性評価ボーリングに組み込み、深度 1m 毎に機械的に実施するのではなく、実施位置を絞り込むことも考えられる。更にこれらのボーリング調査に加え、動的コーン等のサウンディングや表面波探査等の物理探査を組み合わせることで、より詳しい三次元地盤情報の取得が可能となる。

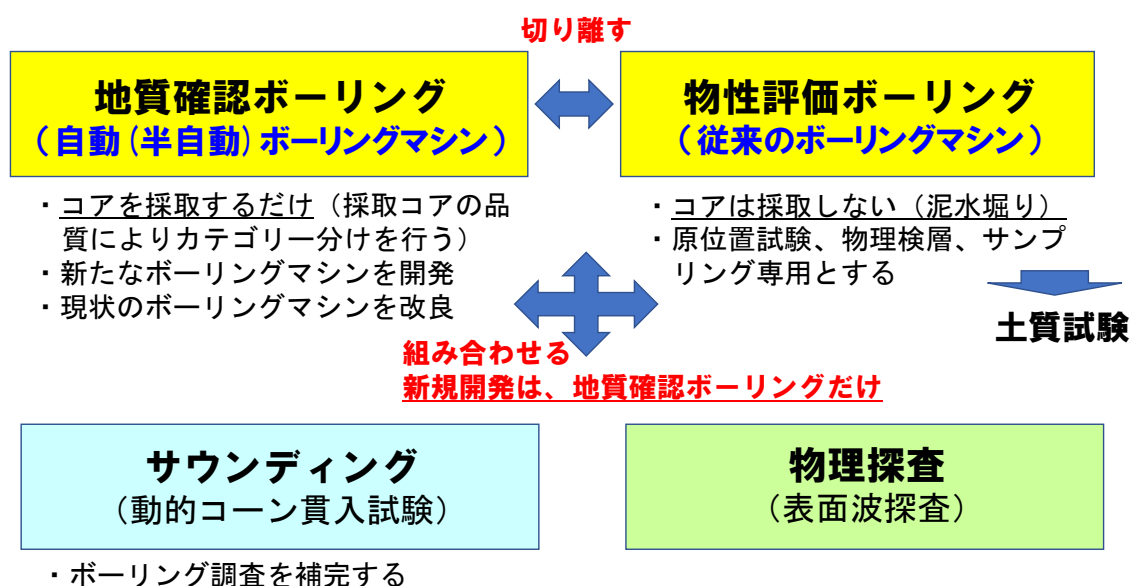


図- 6.3-1 土質地盤の地盤調査法の新たな展開

6.4 まとめ

- (1) 自動貫入試験の開発はイメージ的には可能であるが、ワイヤーラインの活用が必要で、従来のボーリングマシンが活用できないので、費用面で相当程度敷居が高い。
- (2) CPT は、海上ボーリングでは日本の標準的な調査法と出来る可能性があるが、陸上では貫入能力や地下埋設物の影響で困難である。
- (3) これらの課題の解決のためには、「地質確認ボーリング：自動（半自動）ボーリング」と「物性評価ボーリング」を切り離すことで、土質地盤調査の在り方を根本的に変えていくことが可能になる。
- (4) 地質確認ボーリングでは、自動（半自動）ボーリングとすることで、職人的なこれまでのオペレータは必要なく、マニュアル的技術で概ね対応可能になる。このため、ボーリング現場の人材不足対策が可能となり、効率化により収入増を目指すことが出来る。
- (5) 物性評価ボーリングでは、高品質な成果により建設事業費全体のコスト縮減に寄与出来れば、高度技術者として、より高収入が得られる仕組みを構築することが可能となる。また、性能設計にも柔軟に対応できる。
- (6) 今後は、「3.2 章」で検討したように、調査の難易度や調査段階に応じた地盤調査法の組合せを工夫することが必要である。

<引用・参考文献>

- 1) 土木学会誌、Vol.106 No.11、表紙、2021年11月。
- 2) 株式会社オーク ホームページ
https://www.oak-co.co.jp/construction/dth_hammer_method/dth_hammer/
- 3) PDC コンソーシアム ホームページ
<https://www.pdc-cons.jp/>
- 4) ボーリングポケットブック、第5版、オーム社、pp.18-19、2013年9月。
- 5) 地盤調査の方法と解説、公益社団法人地盤工学会、p393、2013年3月。
- 6) 地盤調査の方法と解説、公益社団法人地盤工学会、p392、2013年3月。

7 デジタル時代の標準貫入試験の在り方

標準貫入試験は、21世紀に入って JIS 等で規格化され整備されてきてはいるものの手法としてのデジタル化はほど遠い状況である。試験のデジタル化を考えるにあたっては、装置そのもののロボット化とともに、IT 化するデータ転送、データ整理の状況までを自動化することが必要である。さらには、過去の研究者により検討してきた「物性値への換算」、「空間的な位置づけ」等が検討していく必要がある。その意味ではテクノロジーとして「DX」のなかでもデジタル化だけではなく、トランスフォーメーションをさらに勧めていかなければならない。

デジタル時代を迎えるにあたっての、全体の流れを図 7.1 に示した。まず標準貫入試験のロボット化（ハード部）に関して、変えていくべき 3 点の課題が考えられる。一つは自動制御であり、1mピッチの標準貫入試験を自動で実施し、サンプラーから試料を自動詰込み、自動判別する。サンプラーもシングルコアチューブから試験用サンプラーに自動交換する（あるいはサンプラーで掘削、試料採取）。

二つ目に、「軽量化・一体化」がある。ハンマー重量、落下高さの転換、マシンが移動車と一体化していることである。そして最後に、デジタルツインというものがある。自動運転で移動個所を特定し、別場所にて別空間で操作できるようになることである。搬入においてもドローンやLPデータにより、三次元画像からの最適ボーリング箇所抽出ができる。

このようになれば、アンケートで課題となった、天候・気候に左右され、健康・体力に影響されることはなくなる。

一方重要な観点は、トランスフォーメーションである。換算式等で許容されていた想定値が、構造物の設計精度や価格帯に耐えられなくなっており、高度成長期に採用された経験式や簡便法等のソフトの変革等について考えていかざるをえなくなってきている。すなわち規格化された手法からの脱皮と適正化をはからないといけない。これらをまとめると以下の3点に絞られる。

- (1) N 値と物性値の相関式ならびに数学的根拠
- (2) N 値と地層、地質、地下水の関係の明確化
- (3) 地域、深さ、位置における N 値の影響

N 値と物性値の相関式の課題については、「我が国における標準貫入試験の利用の実態と留意点～歴史的背景とサウンディングとの関係を含めて」（関東地質調査業協会：2020年）でのとりまとめにおいて指摘されている課題そのものであると考えられる。 N 値と各種地盤物性値の相関を得た地層、地質の構成や地域において差異が生じてきている。最も着目しないといけないことは、数学的な根拠と理論式の根拠である。

さらにソフト面で課題となるのは、標準貫入試験が地下水の上下変化した際に N 値そのものが変化（打撃回数に差が発生）する点にある。そして同じ深さ、同じ地層、同じ地質での場所の変化において値が異なるという現実である。また打撃する深度が異なれば、同じ地質でも違いが生じる、水中と陸上でも異なる可能性がある。

このような N 値の深度による補正をどのように考えるべきであるか。基本サンプラー先端

での打撃エネルギーであり、これをどのようにN値で示すことができるかがカギになる。

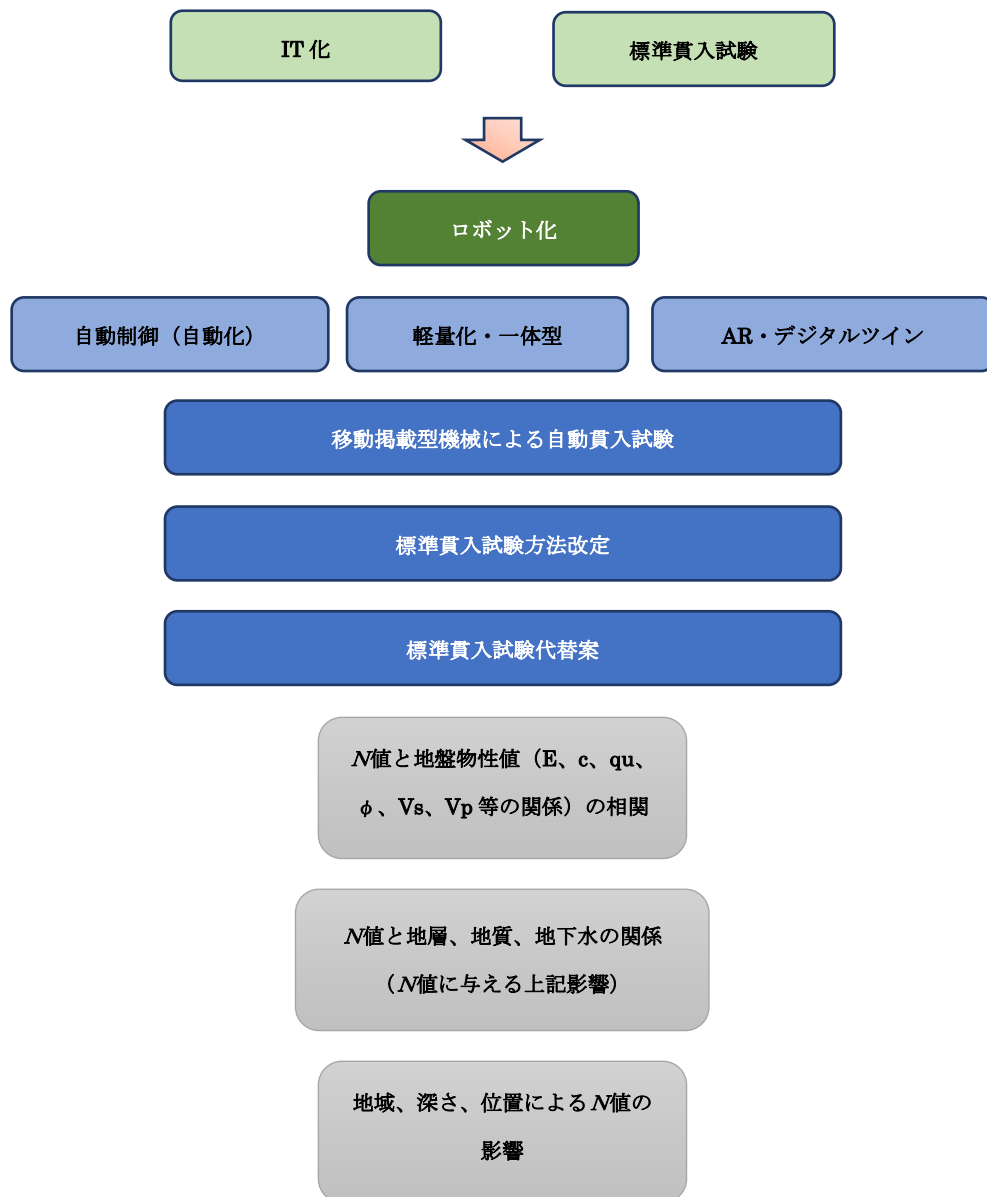


図- 7-1 標準貫入試験デジタル化の課題

標準貫入試験の在り方WGメンバー一覧

座長	中川 渉	: 応用地質株式会社
委員	橘 久生	: 興亜開発株式会社
	水江 邦夫	: 株式会社東京ソイルリサーチ
	遠藤 理	: 大日本ダイヤコンサルタント株式会社
	森山 哲朗	: サンコーコンサルタント株式会社
	山邊 晋	: 川崎地質株式会社
	赤坂 幸洋	: 基礎地盤コンサルタンツ株式会社
	松尾 賢太郎	: 中央開発株式会社
前委員	調 修二	: 基礎地盤コンサルタンツ株式会社
顧問	利藤 房男	: 応用地質株式会社
		(前所属: 名古屋大学 減災連携研究センター)