

委員会報告

COMMITTEE

REPORT

【委員会報告】

施工体験発表会にみる厳しい条件下での施工技術

CONSTRUCTION METHOD AND TECHNOLOGY ON THE SEVERE CONDITION AT THE CONSTRUCTION MEETING

土木施工研究委員会 第3 施工小委員会

Third Subcommittee, Committee on Construction Technology

1. はじめに

土木施工研究委員会は施工に携わる土木技術者を対象にして土木学会への活発な参加を促すことを目的とし、六つの施工小委員会により運営されている。この目的を推進するための一つとして各種の講習会および発表会が企画され、開催されました。この中で「施工体験発表会」は国際化問題に取り組んできた第1 施工小委員会および土木施工のQ&Aを担当する第3 施工小委員会で実施され、1985年6月から始まり、1993年2月で第13回を数える。

- 第1回—マスコンクリートの施工—
- 第2回—海外工事の施工—
- 第3回—軟弱地盤改良における施工上の問題点とその対策—
- 第4回—海外工事の施工・II—
- 第5回—斜面安定における施工例
- 第6回—情報化施工事例—
- 第7回—国際JV事例とその問題点—
- 第8回—地下連続壁（大深度・本体利用・特殊構造物）の事例—
- 第9回—都市土木における近接施工の事例—
- 第10回—海外工事における契約管理の実際—
- 第11回—悪条件下の土留工事例（超軟弱地盤から岩盤まで）—
- 第12回—狭小作業空間における工事例—
- 第13回—最近の環境問題に取り組んだ工事例—

この度の委員会報告は、この中で第3 施工小委員会が取り組んだ発表会について述べ、近年制約条件下での施工が多くなりつつあることからさらに各種の厳しい条件下での工事例に焦点を絞ってみた。また、このような工事に不可欠な情報化施工も取り上げた。

わが国の狭い国土事情により発生する厳しい条件下での施工は、工事近隣の住民に対する迷惑と施工中での危険が重なりいくつもの対策を考えた上で実施されているが、地域性や環境により同種の工事でも対応が変わって

くる難しさがある。

どのような点に力が注がれているかなど改めて見直すことにより今後の新しい対応策の足がかりが掴めるのではないかと考えている。

急ぎの執筆で現状を把握するには情報の不足や追求の浅さなどの点で不満な面もあるかと思うが、ご容赦をお願いしたい。

2. 都市での土木工事の増加

施工体験発表会で報告された施工技術について述べる前に厳しい施工条件を強いられる現況についてふれてみる。

わが国は豊かな国造りを目指した施策の下、世界に例を見ない建設投資（69.9兆円1993年度実績1985年度価格）の伸びを持続しながら、戦後の復興期、高度成長期、安定成長期そして現在と、国土事情や経済社会情勢の変化に応じた社会資本整備を推進してきた¹⁾。そこでは水資源・エネルギー開発のダム、交通網整備のための空港・港湾・高速道路・新幹線・地下鉄、日常生活関連施設など数多くの土木工事が施工されている。そして当初は海外から導入されたものが多かった土木技術は、工事の品質・生産性・安全性・環境などのニーズを的確にとらえ、土木工学の解析手法、建設機械や計測などの周辺技術、新素材・新材料の活用、コンピュータ技術などによって新技術・新工法を次々と生み出し、現在では世界に誇れる技術として発展を遂げている。

一方これら多くの土木工事を、築造する構造物の立地条件から見ると、いわゆる治山・治水、防災という自然を相手にする土木、さらには青函トンネルのような未経験な国土をも相手にする土木の他に、拡大する都市の環境改善のために都市を相手にする土木という流れが加わっている。社会資本整備のための施設は、経済の発展とともに充実の度合いを高め、またその規模の大型化が進み、新幹線や高速道路では大規模・大断面・長大な切盛土、トンネル、橋梁などが造られた。構造物の建設場所は経験のない過酷な気象・海象、複雑な地形・地質、その上に大深度・大水深・大潮流という立地条件とな

り、世界最長の青函トンネル、長大スパンの本州四国連絡橋、エネルギー備蓄の地下タンク、新たな国土を生みだした関西国際空港などの人工島、河川・海底下を横断するトンネルなどが建設された。これらの条件を技術により克服した今は、さらに深い地下、海洋へ、そして宇宙へと未知なる領域に対して新たな挑戦を行っている。

これに対して、市街地・都市における土木工事が近年著しく増加している。高度経済成長期から顕著になった都市部への人口・産業などの集中は、国の施策の方向とは反対に依然として続き、都市基盤整備の立ち遅れから住宅難、交通渋滞、土地高騰という都市問題が深刻化した。1973年のオイルショック以降は安定成長へ移行し、石油備蓄、地下タンクなどのエネルギー関連施設整備や新都市の開発とともに、既成都市においては水道・下水道・ガス・通信などのライフライン施設、地下鉄、道路などの都市環境整備が進められ、地下・地上空間が利用されるようになった。1985年代に入ると大都市化が進み、特に世界金融の中心などになった東京圏への一極集中が問題となり、全国の均衡ある発展を目指す中で都市部のインフラ整備が課題となった。折しも日米構造協議の結果、わが国は1991年度から2000年度までの10年間に総額430兆円の公共投資基本計画を実施することになった。この投資では人々の日常生活に密接に関連した施設の充実を図ることとし、具体的には下水道・都市公園・廃棄物処理施設・住宅・地下鉄・高速道路・既成市街地再開発などをあげている。他に厚生福祉施設、文教施設、治山・治水・空港・港湾・海岸などに係わる施設の整備も含んでいるが都市インフラ整備に重点をおいている。

これらが契機となって、下水道をはじめとするライフライン施設、都市高速道路、地下鉄、共同溝、都市公園、街路などの工事や都市再開発事業が各地で行われている。しかし、新設する構造物の立地条件を見ると、工事場所は開発された新都市ではなく既成の市街地である。わが国の都市の大半は海岸に広がる平野や河川沿岸の低地帯に発達しており、そのほとんどが沖積層から形成されている。産業の中核になっている既成都市はビルや住宅が密集し、交通量が多く道路幅も十分ではない中で、都市機能を阻害することなく工事は進めねばならない。

都市のインフラ整備には施設設置空間の確保という問題を解決する必要がある。都市内の公有地の大部分は道路や河川であるが、道路下には早くからライフラインの管路や地下鉄などが、道路・河川上空には高速道路などが既に建設されている。また土地価格の高騰による用地取得難から既存施設や道路の地下・地上空間を利用する方向が強いため、新たな施設を整備するにしても既にある施設との空間的な競合が生じる。しかしこれを回避して他に代替地を求める余地は極めて少なく、新設構造物

は必然的に既設構造物などと交差する、接近する状態にならざるを得なくなる。このような状況から、都市での土木工事は周辺に存在する施設との関係から施工空間に制限を受け、施設への影響を考慮しながら施工することを要求される。一方、大規模・大断面という条件が都市にも押し寄せている。新たな構造物は高度に利用しようとする要求から複合・大型施設になる傾向にある。

また都市の工事では、近隣住民の生活環境や地域自然環境など周辺環境の保護が課題である。建設投資の伸びに伴い工事量は増え工事規模や施工機械は大型化していった。都市内の工事でも増加し機械施工に伴う騒音・振動、工事排水による公共水域の水質汚濁、薬液注入による地下水汚染、地下水の揚水による地盤沈下などのいわゆる典型7公害問題を、また一方で市街地の交通渋滞、ライフラインの損傷や第三者を巻き込んだ事故による市民生活への影響などの様々な建設公害問題を発生させた。これに対して公害対策基本法をはじめとする各種の規制法が制定され、この対応が施工法の改善・改良を促し土木技術向上の契機となった。さらに最近では、個々の公害防止と自然環境保護に加えて地球的規模の環境保全が議論されている。建設副産物は工事量の増加や工法の発展に伴って急激に増加した。特に建設汚泥、建設廃材の増加は著しく、処理施設や処分地の不足を来した不法投棄による自然破壊が問題化した。また大量に発生した建設残土は、建設廃棄物には分類されない有効資源であるにもかかわらず、処分地不足からくる不法投棄による地域の環境悪化や遠距離・大量輸送による交通問題を表面化させた。このため建設副産物の減量化とともにリサイクルへの取り組みが始まり、環境に優しい土木技術として進展を見せて、工事の中に取り入れられている。

このように都市における土木工事は、

- ・施設立地が臨海部に広がる沖積層平野
- ・既設構造物との空間的競合から発生する狭小、近接という工事作業空間
- ・既設構造物への影響防止
- ・周辺地域の環境保全

にその特徴を見ることが出来る。そこでは軟弱な粘性土層や緩い砂層を相手にして大規模な施設空間を確保するため、大きな外力や水との戦いになっている。新設構造物は既設施設と近接し、小さな作業空間の中で特殊な施工機械や構築法が採用されている。既設構造物や周辺環境に対しては多種多様な防護工や改築工が行われ、その機能維持のために施工時間の制限や計測管理が実施されている。

都市での土木工事は、様々な条件が幾重にも絡み合う輻輳した状況の中で、日本人特有の器用、緻密、根気という気質を土台に、今日までに導入された土木技術、改良・開発された土木技術を駆使して、都市の活動を止め

ることなく進められている。

このような状況の中で施工体験発表会では5回に渡って厳しい施工条件下での工事例が取り上げられた。以下にその内容を述べる^{2)~4)}。

3. 近接施工・狭小空間における工事例

都市集中化に伴い都市機能の高密度化やより快適性への要求に応えるため社会資本施設が増加する中で、新しく建設される構造物は既設構造物に非常に近接しその結果、作業エリアや作業空間が狭小となる工事が増大している。このような工事条件下での工事例が、1990年および1992年に開催された施工体験発表会で報告された。この章ではこの2回の施工条件は同一と考え両者を合わせ近接施工における施工方法についてまとめる。発表テーマは以下のとおりである。

○1990年(第9回)発表テーマ

- 9-1 泥水シールド推進に伴う障害物(残置杭)の調査及び撤去
- 9-2 直上の山手線と道路橋を仮受け山手線駒込付近地下鉄7号線建設工事
- 9-3 国道1号線金港橋架替工事他における近接施工について
- 9-4 護岸に近接したケーソン工事の計測と解析
- 9-5 地下鉄営業線直下の軟弱地盤におけるシールド工事
- 9-6 大規模復水工法の実施—地盤沈下対策を目的として—
- 9-7 既設構造物に近接する大規模ニューマチックケーソンの施工に伴う問題
- 9-8 並列泥水シールドの超近接施工
- 9-9 山陽新幹線神戸駅直下のアンダーピニング工事
- 9-10 圧入ケーソンによる近接構造物への影響について

○1992年(第12回)発表テーマ

- 12-1 高速道路桁下の障害物撤去と地盤改良
- 12-2 狭隘な路地でのシールド機回転工法
- 12-3 狭小作業空間における階段移設工事
- 12-4 営業線に近接した橋脚の施工
- 12-5 JR神戸駅高架下での地下通路工事
- 12-6 狭小作業空間における高速道路拡幅工事
- 12-7 鉄道線路上空での場所打ち杭の施工
- 12-8 駅構内における大型クレーン使用による長大主桁の架設
- 12-9 JR山手線・旧駒込橋の解体撤去

発表された事例でも、近接する対象既設構造物は建物・道路橋・鉄道橋・鉄道地上線・地下鉄・護岸・共同

溝等あらゆる構造物である。近接施工における対策は工事中および完成後において既設構造物の変状防止を目的とした新設構造物の施工方法を優先すべきであり、既設構造物自身の補強等による対策は最終手段とした位置づけと考えるべきである。しかし、諸条件によっては両者を合わせた対策が必要となる場合もある。以下に発表事例を踏まえ対策方法を整理する。

事例のうち、約半分は対策工法(補助工法)を採用しないで施工方法、例えば、孔壁崩壊を防ぐ場所打ち杭工法や地盤の側方移動を防ぐ既製杭打ち工法、ケーソンの沈設方法、シールド機械の構造、使用機械等によって既設構造物への悪影響を来さない対策を構っている。対策方法の中で最も多く採用されているのは、薬液注入も含めた地盤改良工法であり、過去の実績においても採用が多い工法である。地盤改良工法は掘削や盛土工事を可能にし、また、構造物の沈下や変状を防ぐ事前対策として適用する工法であるが、この工法自体の施工中に近接する既設構造物に悪影響を与える原因になることも多々発生するため、適切な工法を選定しなくてはならない。例えば、石灰パイル工法は地中に生石灰パイルを形成させるため、生石灰と水の反応による膨張圧等で土の側方移動を起し近接構造物の基礎杭の水平移動を起すことがある。また、薬液注入の場合は構造物を持ち上げたという事故も過去にあり、採用に当たっては注入方法、注入材料、注入範囲、注入圧力、注入管理値等について近隣もしくは類似の施工実績を参考にして十分な事前検討が必要である。例えば、注入方法による影響度合いは、

単管ロット：地盤変状が大きくなる恐れがある

単管ストレナー：均等に浸透するため他工法に比べ地盤変状は少ない

二重管単相注入：脈状注入となるため地盤変状の可能性が大きい

二重管複相注入：地盤変状は少なめであり影響は比較的少ない

二重管ダブルバック注入：地盤変状は少なめであり影響は比較的少ない

といわれている。

ケーソン工法による橋脚基礎工事例では、対策工法として、地盤改良の他に遮断防護工、減摩材の使用、刃先空隙部への充填、水中掘削等を採用している。ケーソン工事での変状原因はケーソン沈設時の周辺地盤の乱れ、傾斜修正の繰り返しによる地盤の乱れ、先掘りによる地盤の乱れ、周辺地盤の引き込み沈下、フリクションカット上部空隙部への地盤の移動等である。ある工事では、周辺地盤の影響を最小限に抑えるためフリクションカッターを15mmとし、遮断壁に鋼矢板打ち込み、フリクションカット空隙部にはセメント・ベントナイトを注入、周面摩擦力軽減材としてNFシートを採用してい

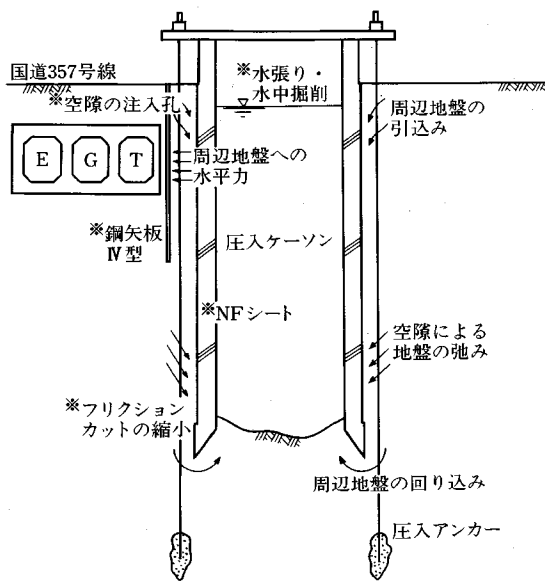


図-1 周辺地盤の動きと対策工 (*印)

る。ただ、遮断壁に用いた鋼矢板を引き抜く時、特に粘性土の場合土の移動を起こすことがあるので注意しなくてはならない。ケーソンの傾斜修正にグラウンドアンカーを反力にした圧入工法を採用することもあるが圧入により周辺地盤の崩壊を来すこともある(図-1)。

駅部地下工事は、列車の通行に何らの影響も与えることもできない厳しい施工条件である。事例では、場所打ち基礎杭および連続地中壁の周囲に孔壁崩壊防止を目的に薬液注入を行っている。既設の駅部は仮受け杭、仮受け梁により仮受けして新設の地下構造物を築造している。施工中は既設構造物にも計測機器を取付け情報化施工を実施し安全に工事を完成させている(図-2)。

鉄道地上線、地下鉄直下を横断する工事ではパイプルーフ工法を採用している。パイプルーフ工法は土被りの小さい線路下の掘削工事の補助工法として有効な工法であり施工例も多く一種の遮断工法といえる。工事条件によりパイプを一字・門型・垂直型・アーチ型・あるいは円環状に配置して地盤変状防止に努めている。事例では、地下鉄直下の横断および残置鋼矢板の撤去目的でφ914.4mmのパイプを円環状に配置して施工した。残置鋼矢板はパイプ内から撤去したが、パイプ推進中における切羽安定および地下鉄直下部の地盤強度増加の目的で薬液注入も行っている(図-3、図-4)。

近隣に飛行場および精密機械を設置した工場が存在する開削工事では、被圧水頭を下げる目的でディープウェルポンプにより揚水を行ったが、揚水による圧密沈下を防ぐ目的で複水工法を採用した。この工事での井戸径は50cmであった。この工法は井戸の目づまりに対する管理を十分に行わなくては効果は得られない。目づまりの

原因は水質、スクリーン部の酸化、井戸水の酸化等である。目づまりは揚水・注水を定期的に繰り返し行うことで防ぐ事ができる。

次に近接施工における通常対策工法を以下に示す(表-1、図-5)。

近年行われている近接施工ではほとんどの工事において計測管理を取り入れた情報化施工が行われている。情報化施工の詳細は他章に譲るとしてコンピュータの小型化や計測結果を踏まえた予測解析の技術も向上しており、得られた情報を有効に活用して、特に第三者への事故の防止に努めなければならない。また、狭隘な場所における機械化施工を可能にするために、基礎工等の建設機械の小型化も進んでいる⁹⁾。

4. 悪条件下の土留め工事例

1991年に開催された施工体験発表会では悪条件の土留めに関する工事例について報告された。発表テーマは以下のとおりである。

○ 1991年(第11回)発表テーマ

- 11-1 地中軟岩部に拡幅箇所を設けた立坑の設計・施工例
- 11-2 軟弱埋立地盤での大規模開削工事
- 11-3 玉石混じり砂礫層地盤におけるSMWを用いた土留め掘削工事例
- 11-4 地すべり地帯における大深度深礎杭施工について
- 11-5 控え杭式土留め工を用いた大規模掘削
- 11-6 大深度掘削に伴う柱列杭による土留め工
- 11-7 地中障害箇所への土留め壁の施工
- 11-8 超軟弱埋立地盤における大規模土留め工事例
- 11-9 高被圧水下でのアースアンカーの施工
- 11-10 輻輳した埋設物下の土留め工(置き換え)について
- 11-11 軟弱地盤における大規模掘削の施工管理

発表事例の内訳は、軟弱地盤や玉石混じり地盤あるいは高被圧水等の主として地盤条件に関するものが5件、地中障害物に関するものが1件、大深度や大規模な開削に関するものが4件、狭小空間や交通条件の影響に関するものが1件となっている(表-2)。

軟弱地盤に関する事例では、対応策として各種地盤改良を施し安全性を確保するとともに、各事例とも比較的大規模な工事であることから計測管理あるいは情報化施工等で安全性を確認し、工事を完了させている(11-2, 11-7, 11-8, 11-11)。このように、軟弱地盤の山留め工事においては、一般に地盤改良等の補助工法で対処しているものがほとんどであり、種々の地盤でどのような

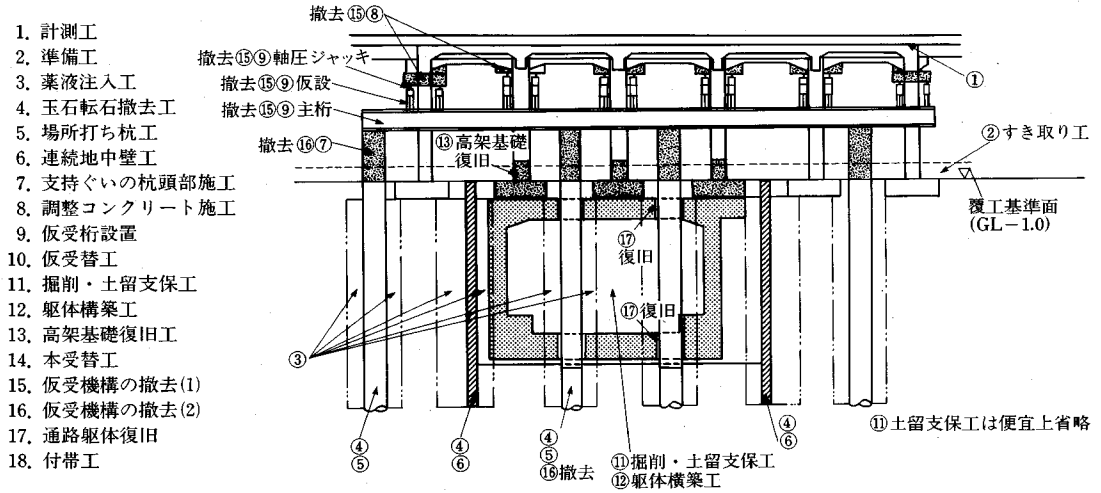


図-2 施工断面図

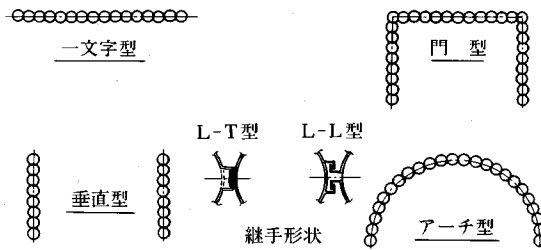


図-3 パイプルーフ形状による分類

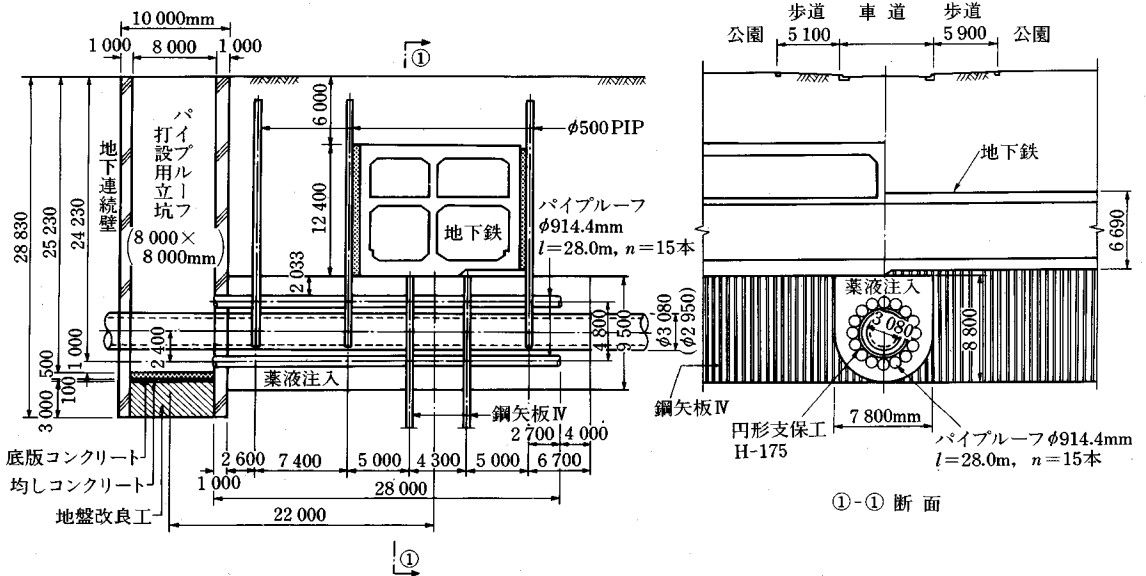


図-4 地下鉄断面

表-1 変状原因と対策工法

工事種類	変状原因	対策工法
1. 開削工事	土留め壁の変形	土留め壁の強度・剛性の増大, 切梁りプレロード, アースアンカー工法, 先先行切梁り, 地盤改良, 水中掘削
	杭ヤットコ打ち部の空洞	埋戻し
	ヒービング	土留め壁の根入長・強度・剛性の増大, トレンチ, アイランド工法, 地盤改良
	ボーリング, 盤ぶくれ	地下水低下工法, 地盤改良
	土留め壁の漏水	止水壁, 止水注入
	埋戻し土の圧縮変形	適正な転圧, セメント類の混合
	土留め壁回収による空洞	充填材の充填, 埋戻し
	地下水位低下	止水壁, 止水注入, 複水工法
2. 基礎工事	振動による地盤沈下	低振動, 無振動工法
	地盤の押し出し	施工順序の変更, プレボーリング中掘り工法
	周辺地盤の崩壊, 緩み	ケーシング工法, 安定液の使用, エレメント幅の縮小, 地盤改良
3. ケーソン工事	引き込み沈下	減摩材の塗布, エアーカーテン,
	フリクションカット部の空洞	縦リブ, 濃泥水の注入
	底部地盤の崩壊, 緩み	施工管理, 地盤改良
	地下水位低下	止水壁, 圧気
4. シールド工事	切羽崩壊, 土砂呼び込み	施工管理, 地盤改良
	周辺地盤の崩壊, 緩み	地盤改良, 裏込め注入
	地下水位低下	止水注入, 圧気
5. 山岳トンネル工事	地盤崩壊, 緩み	施工管理, 支保工の強度・剛性の増大ロックボルト打設, 地盤改良
	出水, 地下水低下	止水注入, 地下水低下工法
6. 盛土工事	引き込み沈下, 滑り崩壊	施工管理, 段階施工, 地盤改良, 軽量盛土材

表-2 発表論文の概要

番号	構造物種別	土留め種別	悪条件・問題点	対応策
11-1	発進立坑	親杭横矢板	地中軟岩部 拡幅	吊り構造支保工型式ゆりみ領域解析 (FEM)
11-2	大規模開削ボックスカルバート	鋼管矢板	軟弱地盤 (盤ぶくれ, ヒービング)	地盤改良 (CDM) 動態観測
11-3	大規模開削	SMW	大深度・高地下水 玉石混じり砂礫層	不透水層を利用した遮水工法
11-4	地すべり抑止杭	深礎杭	崩壊性地山 安全性確保	堅型式シールド
11-5	大規模開削	鋼管矢板控え式	土留め壁の変状 盤ぶくれ	地盤改良 (DJM, JSG) 情報化施工
11-6	到達立坑	柱列杭	大深度 狭小スペース	止水注入 観測施工
11-7	排水機場	SMW	軟弱粘性土層 地中障害物	薬液注入 計測管理
11-8	大規模開削	鋼管矢板	超軟弱地盤 地中障害物	地盤改良 (DJM) 計測管理
11-9	大規模開削	アースアンカー式連壁	高被圧水による削孔口からの砂噴出	特殊止水装置の開発
11-10	ボックスカルバート	置換え土留め壁	地下埋設物の幅狭 交差点内作業	ソイルセメント使用土留め壁
11-11	大規模開削 下水道ポンプ室	鋼管矢板	軟弱地盤 近接施工	RC 支保工 情報化施工

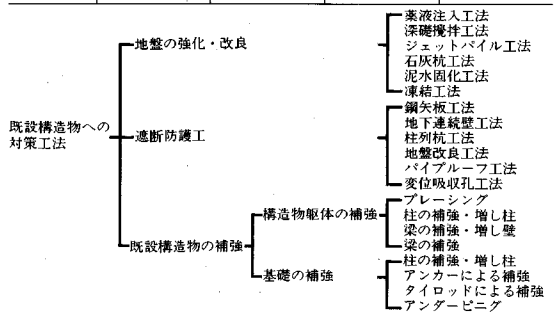


図-5 既設構造物への対策工法

改良方法が最も適切で経済的か等について十分検討することが重要となろう。

また、軟岩あるいは玉石混じり砂礫等の比較的堅い地盤に関する事例は2件あり、これらのうちの底部の軟岩部のみを拡幅した事例は、山留め壁を切断し、吊り構造支保工型式で対処したものである(11-1, 図-6)。この

工法を適用するに当たっては、吊り支保工が完成するまでの無支保状態について FEM 解析等を用いた十分な検討を実施し、安全性を確認している。玉石混じり砂礫層での土留め壁の事例は、SMW 工法を用いて十分な遮水効果のある土留め壁を築造するものであり、立て込み精度を確保するために溝掘り用ガイド定規を工夫するとともに先行ボーリングを実施し、さらに機械の細部を補強することによって対処したものである (11-3)。これら両事例は、厳しい制約条件の場合でも、詳細な事前検討や種々の工夫を実施することによって施工可能なことを示したものであり、施工者サイドの取り組み姿勢のあり方を示唆するものである。

土留めの型式が控え杭式あるいはアースアンカーとなっている事例は 2 件あり、これらのうちの高被圧水下のアースアンカーの事例は、削孔中の孔口から地下水や土砂が噴出したり、注入したセメントミルクが水圧で逆流したりすることを防止するため、新たに特殊止水装置を開発して対処したものであり、今後同種の工事を施工する際に大いに参考になるものと考えられる (11-5, 11-9)。

安全性や狭小スペース等に考慮した事例は 3 件あり、その内訳深礎杭を堅型式シールドで掘削した事例 (11-4)、狭小スペースで大深度立坑を施工した事例 (11-6)、地下埋設物の幅越した交差点内でソイルセメントを使用し山留め壁を築造した事例 (11-10) である。最初の事例は使用目的が山留めではないものの、崩壊性地山に深礎杭を築造するに当たって安全性の面から堅型式シールド機を用いて施工したものであり、地すべり地帯において安全に抑止杭を施工するための今後のあり方を示唆したものとなっている (図-7)。

上述のように、土留め工事に関しては様々な制約条件があるが、施工体験発表会での結果を踏まえてとりまとめると、大深度、狭小空間、コストダウン、工期短縮、安全性等が問題となろう。これらのうち、大深度とコストダウンについては土留め壁の厚さをできるだけ薄くする方向で技術の進展が計られており、鉄筋の代わりに鋼製ボックスを用いた鋼製連壁や高流動・高強度材料のコンクリートが用いられる傾向にある。

また、狭小空間については、従来の機械の幅あるいは高さを小型化する方向で開発が進められており、既に実用化されているものもある。

さらに、工期短縮あるいは安全性の確保については、シールドの発進立坑という構造物に限られたものではあるが、NOMST 工法のように新材料を用いた山留め壁工法も研究開発されている。

いずれにしても、地下に構造物を築造する際に、土留め工事は必要不可欠な工種であり、都市部等の現状を踏まえれば、今後より厳しい制約条件の基で工事を進めて

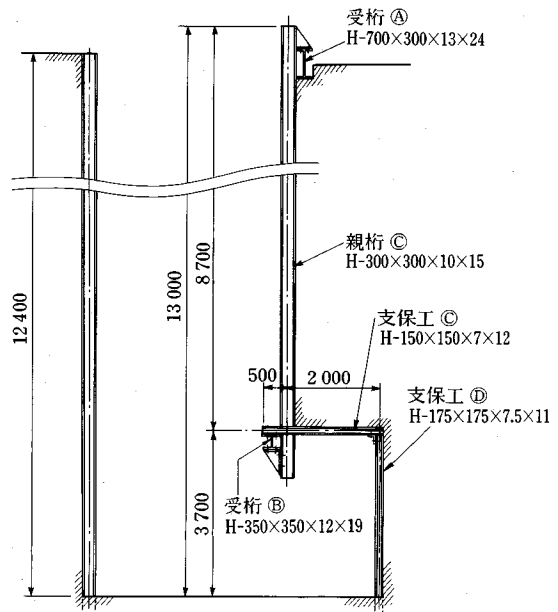


図-6 立坑掘幅箇所支保工詳細図

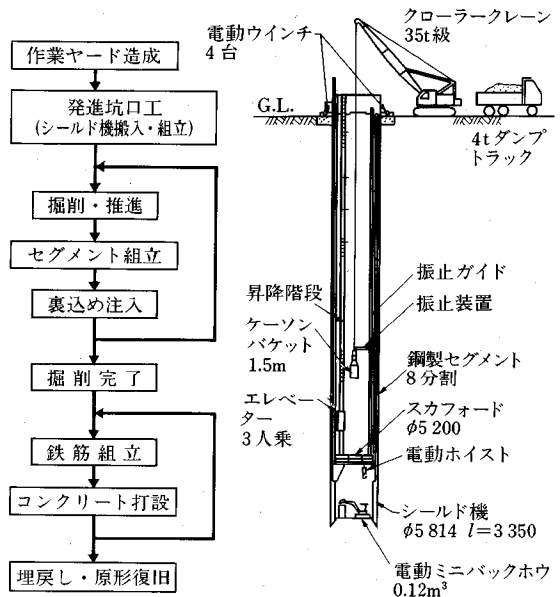


図-7 深礎杭工事の流れと掘削要領図

いかざるを得ない状況となり、上記制約条件を解決する方向の技術開発が必要となろう。

5. 環境に配慮した工事例

1992年6月の「環境と開発に関する国連会議」、いわゆる地球環境サミットでは「持続可能な開発」という新たな理念が打ち出された。これを契機として、環境問題特に地球規模の環境問題に高い関心が示されるように

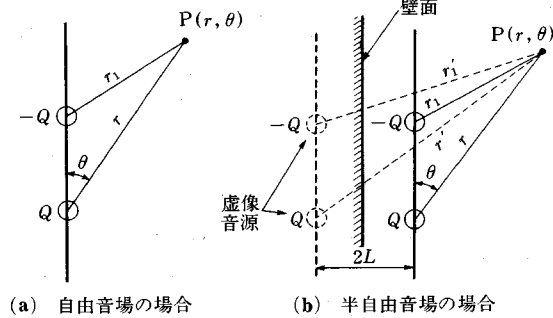


図-8 ダイポール音源の考え方 (13-1より)

なった。建設業も例に漏れず地球環境問題に取り組む新組織を発足させ、対応を開始した。

このように地球環境に対する意識が急速に高まりつつある流れの中で、環境問題に取り組んだ工事例が1993年に開催された施工体験発表会で報告された。発表テーマは以下のとおりである。

○1993年(第13回)発表テーマ

- 13-1 アクティブコントロール技術を用いた超低周波音対策について
- 13-2 廃棄物埋立地における地下水汚染対策としての遮水工事
- 13-3 リモートセンシングデータを用いた造成工事における植生影響評価の試み
- 13-4 ゴルフ場環境対策としての緑化・農薬除去工法の開発
- 13-5 ゴルフ場造成工事中の濁水処理工法
- 13-6 建設発生土の緑地造成への有効利用
- 13-7 市街地における環境対策と低公害トンネル掘削工法について
- 13-8 自然環境と調和する緑化のあり方
- 13-9 地中連続壁工事に使用する安定液の減量化への取組

発表事例の工事別内訳は、ゴルフ場4件、造成工事2件、トンネル工事2件、都市部の地下工事1件であった。特に大規模な土工を伴う工事では、環境問題をはたして通ることができないことがわかる。

また内容別にみると、騒音・振動対策2件、水質汚濁対策2件、建設副産物処理処分2件、緑化・修景2件、その他(廃棄物処理場遮水工法)1件であった。サブタイトルに「自然の復元・建設副産物の再利用・代替材料・省エネルギー・減量化・建設公害防止例」を付したが、建設公害(典型七公害)に関するが4件と依然多いことを示している。以下、内容別に環境に配慮した工事例を紹介する。

振動・騒音対策については、山岳トンネル、都市トンネル(シールド工法)各1件であった。

住宅地に隣接したトンネルを山岳工法により施工した事例では、近接民家までの距離わずか25mという厳しい条件下で、機械施工および制御発破で対応したものである(13-7)。泥水シールド工事における事例では、土砂分離機から発生する低周波音(20Hz以下)をダイポール音源理論を応用して制御している(13-1)。ダイポール音源理論は、極めて接近する同じ強さの2つの点音源を構成し、その位相を制御することにより音圧レベルを低減させるものである(図-8)。本事例では、2台の振動ふるいをアクティブノイズコントロールによってダイポール音源を構成し、音圧を約20dB低減できたことが報告されている。通常の周波数域の音は防音壁等で比較的簡単に対応できるが、低周波音ではその対応が難しいため、しばしば問題になる。本事例は今後の解決策のひとつとして注目に値する。

水質汚濁対策は、ゴルフ場造成工事中の濁水処理と、ゴルフ場農薬処理の2件であった。濁水処理の事例では、流域別に降雨流出量を予測し、調整池を最初沈殿池として利用できる流域において連続処理方式で、また最初沈殿池が設置できず濁水処理量の調整ができない流域においては、エア攪拌による急速な沈殿処理方式を採用している(13-5)。さらに、調整池の設計に当たっては洪水調節の目的のほかに、濁水処理の機能をも反映させる必要があることを提案している。ゴルフ場における農薬汚染対策に関連した技術は二つ紹介しており、一つは良好な緑地を維持することができる人工土壌、もう一つは農薬排水処理である(13-4)。多孔質材料を用いた人工土壌は、保水性・排水性に優れ芝の生育も良好であることが実験で明らかとなり、施工実験の段階に入っている。また農薬を含有する排水は粒状活性炭を用いて吸着処理を行うことにより目標値以下にすることができ、これは実際のゴルフ場の一面に設けられた実証実験場でのデータにより、その効果を把握している。建設段階に限らず供用段階を考慮した品質保証を行っている事例で、大いに参考になるものと思われる。

緑化・修景に関する事例では、工事が植生に及ぼす影響や植生の現況を広範囲に捉える調査技術として、リモートセンシング技術の応用を紹介している(13-3)。ゴルフ場や宅地の造成工事においては、植生の変化について把握し対策を講ずることが必要であり、環境アセスメントはもちろん、それに基づく環境監視に効果を発揮するものとして期待できる。ただし、小規模開発や貴重種を含む局所的な監視等には分解能アップに課題が残っている。

一方の緑化技術は、緑化基盤構成材に空気を吸引・混合させ、団粒構造と連続繊維による根張り効果を有する土壌に改良して吹き付け、安定化した緑化基盤を造成するものである(13-8)。この方法によると、降雨等に浸

食されない、しかも通気性のある緑化基盤ができるため、発芽・生育までに比較的長期を要する木本類等の播種からの計画的な導入が可能となる利点がある。亀裂性岩盤に施工した事例の経年観察によっても、自然植生に近づいていることが確認されている。

発生土（残土）や汚泥は、建設工事ではその取扱い、特に処分場の不足や遠隔化が課題となっており、各現場で苦慮しているのが現状であろう。これに対しては、「再生資源の利用の促進に関する法律」いわゆる「リサイクル法」制定後、建設省による指導や共同研究の実施が推進されている。ここでの発表事例は、造成工事における発生土の有効利用と基礎工事から発生する汚泥の減量に関するものである。発生土の有効利用の事例では、発生土を調査して客土材として利用できるものを有効に利用したもので、客土の採取場所を決めて運土計画を綿密に立てて順調に工事を進めた（13-6）。汚泥の減量についての事例では、連続地中壁に使用する安定液とその処理について報告するもので、安定液の化学的劣化を防止する新分散剤を使用した結果、安定液の使用量は従来の1/3、廃棄液量も1/3~1/4程度に減量できたことが示されている（13-9）。さらに掘削土砂を混入した循環液を大処理量遠心分離機で処理することによってスライム分を効果的に除去でき、安定液の転用率を大幅に向上させることが可能となった。沖積粘性土地盤での工事では安定液槽容量を1/3に減じることができ、省スペース面からも効果があることがわかった。

最後に紹介する事例は、埋立てを終了した廃棄物最終処分場の跡地利用に当たって、下流の地下水を汚染することを未然に防止するための遮水工事である（13-2）。近年、最終処分場やハイテク工場施設からの浸透水拡散による地下水・土壌汚染が問題となっており、一つの対策事例として参考になるものと考えられる。鉛直遮水はシート状の高密度ポリエチレンを特殊な打込み棒で保持しながら、いくつかの掘削方法を組み合わせて地中に連続した壁を構築する方法が採用されている。また表面遮水も同様の材質のシートにより全面を覆う工法としている。これらの遮水工の効果はモニタリング井戸の水質観測により確認されている。

以上、発表された事例の概要を述べたが、都市部での工事に見られるように低騒音・低振動工法の採用に伴って、新たに発生土（残土）や汚泥の処理・処分、土砂分離装置の低周波騒音など、問題が複雑化している状況が明らかとなった。

また建設工事においても、公害防止対策から地球環境を考慮した対応への方向性を示唆する2~3の事例が見られた。たとえば廃棄物最終処分場や造成工事では、計画段階から供用段階さらには跡地利用段階まで一貫した、より広範囲の環境保全が必要であることが指摘され

た。そのためには、リモートセンシング技術のような広域監視技術、地下水制御技術、緑化技術など個々の要素技術を組み合わせて、いかに環境影響負荷を低減するかが重要となってくる。これからは環境を「保護から創造」する方向で、技術開発が推進されることを期待するものである。

6. 情報化施工の適用

(1) 情報化施工の概要

a) 情報化施工の概念

情報化施工の基本となる考え方は、TerzagiとPeckが提唱した“Observational Procedure”（現場計測工法）に見ることができる。これは、土木の工事における施工中の状態を観測、計測しながら、その結果を施工に反映させるという発想であるが、この基本理念を実際の施工で実施するためには、計測で得られたデータを適確かつ迅速に処理し、これを設計や施工に反映できるような情報に加工することが必須となる。これが実現するためには、1970年代に入ってから計測機器や、パーソナルコンピュータの進歩により、施工中に生じる事象のデータを正確に採取し、現場で手軽に情報処理できるようになるまで待たなければならなかった。

今日では、技術者は確実な情報をリアルタイムに入手することができ、その情報に基づく適確な情況判断と、意思決定ができるようになってきた。このような施工方法が“Realtime Construction Control System”（情報化施工）と呼ばれている^{8)~9)}。

b) 情報化施工利用の拡大

従来、複雑な性状を有している自然地盤を対象とする工事は、土が強い地域性をおび、さらに個性的、非線り返しの性質を有しているため、事前の設計でその挙動を正確に予測することは困難であり、施工の過程において観測された情報に基づき設計、施工の方法を見直すことが重要となる。そのためには、情報化施工が必要不可欠となっている。

また、最近の情報化施工といわれるものの中には、得られた計測データを解析して判断を求められるものから、計測したデータそのものが意味を持つ、すなわち、計測管理のみで十分役に立つ場合も含まれている。さらには、最新の計測機器を使用することでこれまでできなかった計測や、業務の効率化、品質の向上を目指すためのシステムも、見られるようになってきた。

本編では、土質工学で用いられてきた情報化施工本来の意味に加えて、最近のコンピュータの発達に伴って開発されてきた業務の効率化、品質向上に役立つシステム等も、情報化施工としてとらえることとした。

表-3 発表論文の分類

工事の種類	第6回 情報化施工	第9回 近接施工	第11回 土留め工事	第12回 狭小作業空間
開削工事	6-2,3,4,7	9-6	11-1,2,3,5,6,8,11	12-1
基礎工事		9-3		12-4
ケーソン工事		9-4,7,10		12-6
シールド工事	6-8,9	9-8		
山岳トンネル工事	6-10			
土工事	6-5,6			
斜面安定工事	6-7		11-4	
アンダーピニング工事		9-2,5,9		12-5

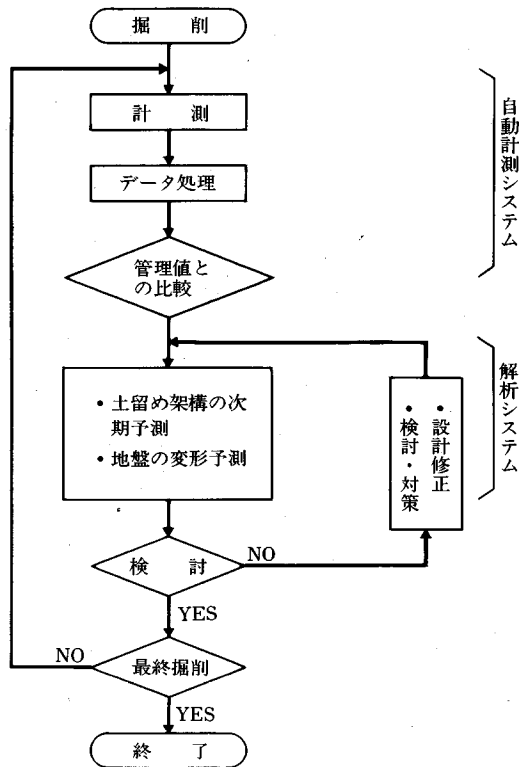


図-9 情報化施工の方法（開削工事）

- 6-5 大規模土工事における土量管理システムについて
- 6-6 土量管理システムによる造成工事の施工管理について
- 6-7 汎用計測システムによる工事施工管理
- 6-8 土圧式シールド工事における掘削管理
- 6-9 シールド工事における情報化施工
- 6-10 活線トンネルに近接した山岳トンネルの発破に対する施工管理事例

工種、工法別に分類すると、開削工事4件、シールドトンネル工事2件、山岳トンネル工事1件、土工事2件であるが、その後に行われた「第9回都市土木における近接施工の事例」、「第11回悪条件化の土留め工事例（超軟弱地盤から岩盤まで）」、「第12回狭小作業空間における工事例」のうちから、情報化施工に関連する発表テーマも含めると表-3に分類するように増える。

この表から各種の工事の事例数をまとめると、開削工事は13件、基礎工事は2件、ケーソン工事は4件、シールド工事は3件、山岳トンネル工事は1件、土工事は2件、斜面安定工事は2件、アンダーピニングは4件となる。開削工事の件数が多いのは、第11回のテーマが土留め工事であったためと考えられる。

最近の施工体験発表会で増加している厳しい施工条件下での施工においては、なんらかの形で情報化施工を掲げて工事を行っている。その内容を見ると、工事そのものの施工管理から周辺地盤、既設構造物への影響管理まで幅広く対応している。いずれも、不確定性を多く含む土質工学、地盤工学に深く関連する分野であるため、より安全性が高く合理的な設計・施工を主目的として情報化施工が実施されている。

- b) 各種工事における情報化施工の特徴
- 次に、工事毎の情報化施工の特徴を概観する。

① 開削工事

開削工事において最も多く実施されている情報化施工の方法としては、土留め壁の応力、変位、傾斜角、切り

(2) 施工体験発表会にみる情報化施工の事例

a) 施工体験発表会の事例

情報化施工の事例は1988年に開催された施工体験発表会で報告された。発表テーマは以下のとおりである。

○1988年（第6回）発表テーマ

- 6-1 情報化施工の背景と意義
- 6-2 SOCSによる山留め工事の情報化施工
- 6-3 環状8号線羽田空港トンネル工事における土留め計測施工
- 6-4 東京空港アクセス道路築造工事（その5）に伴う山留め計測管理

梁軸力、周辺地盤の沈下、傾斜等の計測結果を基にした、設計値との比較、地盤の諸定数の逆解析と、これを基にした次段階掘削の予測解析があげられる(図-9)。また、観測井水位、地盤変状計測を基に、掘削による盤ぶくれ等の管理に用いられている例も見られる。

近接構造物への影響管理としては、既設構造物の変形、変位観測等を行う計測管理が一般的である。

開削工事における情報化施工の実施においては、上記に示す項目を必要に応じて組み合わせているのが現状である。特に軟弱地盤などの地盤条件が厳しい工事ほど計測、解析項目が増加し、情報化施工の重要性が増している。

② 基礎工事

報告された事例では、工事の施工管理よりも近接構造物の挙動計測が主体であった。具体的には、既設橋脚に傾斜計、沈下計、振動計を設置し、また、橋脚付近地盤に挿入式傾斜計を設置して挙動を観測している。

③ ケーソン工事

施工中における沈下管理、ケーソン躯体の応力管理等は、リアルタイムに管理している。ケーソン沈設中に生じる、周辺地盤への影響を把握するため地表面沈下、地中層別沈下、地中水平変位等を計測し、事前解析の結果と比較することで、施工管理を行っている。また、近接構造物に対しては、応力、沈下、傾斜等を計測することで影響を把握している。

④ シールド工事

シールドにおける情報化施工としては、シールド掘進中における掘削土量、掘土速度、裏込め注入、泥水、泥土等の注入量、注入圧、排泥量等についてリアルタイムに管理することが挙げられる。また、これらのデータと地表面の沈下測定や、近接構造物の観測データ等を加味することで総合的な管理を行っている。

特殊な例としては、並列シールドの超近接施工におけるトンネル相互の挙動管理を目的に、地表、地中変位、土圧、トンネルの応力、トンネル内空変位等を計測した例が報告されている。

⑤ 山岳トンネル工事

NATMにおいては、従来よりA計測、B計測として計測項目の分類がなされ、地盤条件に応じた計測が採用されてきた。この計測結果により、必要に応じて逆解析等を行い変位量を予測し、掘削方式、支保形式の判断に役立っている。

また、発破による周辺への影響を判断するため、振動速度、内空変位量、覆工のクラック開口幅計測等を行い、近接構造物に与える影響を判断しながら施工した例が報告されている。

⑥ 土工事

測距・測角が一台でできる電子式測量器を用いること

で、測量作業の能率向上および記録の電子化を図っている。このデータを基に各種の土量計算、出来高管理等の作業が自動化でき、かつ、リアルタイムにできるようになり、作業効率の向上と、高品質な出力が得られるようになった。

⑦ 斜面安定工

斜面の動態観測を行うために、地すべり計、ひずみ計、傾斜計、間隙水圧計等を設置し、自動的にデータの取り込み、処理を行い、異常値が検出された場合の警報発令等に利用している。

(3) 今後の動向

最近の情報化施工の実施例を見ると、従来から行われている施工中の状態を観測、計測しながらその結果を施工に反映させるという方法に加えて、計測機器の進歩に伴う新システムの開発により施工管理の合理化、品質の向上を目指すものまで幅広く利用され、応用範囲が広がっていることがわかる。

その一部を紹介すると、基礎工事では地下連続壁の掘削精度を向上させる管理システム、トンネル工事では地山の前方探査、トンネル断面の自動マーキングシステム、シールドの自動方向制御システム、土工事ではGPSを利用した測量や運土計画管理などがある¹⁰⁾。

情報化施工を実施するのは、工事の安全性の確保が第一目的であったが、技術の進歩に伴い、その適用範囲は工事中のみならず、計画段階や、工事終了後の構造物の保守の段階にまでその範囲を広げつつあるといえよう。

7. おわりに

施工体験発表会を通して代表して報告された僅かな工事例を見ても、近接施工、狭小作業、扱いにくい地盤、埋設障害物および環境を損ねる公害など悪条件下での工事がいかに多種に渡って施工されていることが痛感される。また、これらの工事がそれぞれの条件に対応した施工技術により完成されていることを見ると、現在まで厳しい施工条件下を克服した工事技術者のご苦労を察し、改めて敬意を表すると共に、ますますのご活躍を期待したい。

今後、狭い国土事情により土地の高度利用が一段と進み、都市の過密化に伴い構造物がさらに輻輳し、構造物の新設、補修、補強にかかわらず一層厳しい条件下での施工が増加するものと思われる。このような状況のなかで「特殊条件下での設計・施工に関する基準」の作成が望まれており、今までの厳しい条件下の多くの工事例は貴重な資料になると思う。この報告がさらに進んだ対応施工技術の出現に少しでも寄与できることを願い、今後の活発な論議により対応施工技術のますますの発展を期待する次第である。

最後に、当小委員会の構成を以下に付記する。橋本

司* (委員長), 庄司英四郎 (副委員長), 石崎英夫, 上山一彦, 宇野定雄*, 大橋幹生, 後藤辰夫, 高津 忠*, 名倉政雄, 船津修一*, 槇野和幸, 馬渡祐二*, 武藤雅俊, 湯浅康尊*, 本間真美 (前副委員長) (*は本稿の執筆担当委員)

参 考 文 献

- 1) 建設省編：平成6年度版建設白書，大蔵省印刷局，p. 495，1994年8月。
- 2) 豊かな国を造る，土木学会誌別冊増刊，Vol. 79—7，pp. 41～44，1994年5月。
- 3) JACIC編：'94建設技術ハンドブック，pp. 146～149，1994年3月。
- 4) 入江平門：拡大する業務空間との強豪，土木学会誌，

- Vol. 75 No. 8，pp. 41～43，1990年。
- 5) 土質工学会：近接施工，土質基礎工学ライブラリー 34。
- 6) 吉国洋：情報化施工とその背景，土と基礎，Vol. 30 No. 7，pp. 5～10，1982年。
- 7) 松尾稔・川村國夫：情報化設計・施工システムの基本的考え方と分析，土と基礎，Vol. 30 No.7，pp. 11～16，1982年。
- 8) 坂田直文・大形誠：各種の情報化施工事例とそのシステム論的考察，土と基礎，Vol. 30 No. 7，pp. 17～23，1982年。
- 9) 情報化施工とマイコンの利用編集委員会：情報化施工とマイコンの利用，(社)土質工学会，pp. 1～6，1986年。
- 10) 日経BP社：特集・計測技術'91，日経コンストラクション，pp. 22—43，1991年6月28日。

(1994.10.26 受付)