

首都高速道路への近接施工と対策

MOVEMENT CAUSED BY THE NEIGHBORING CONSTRUCTION AND ITS PROTECTION IN CASE OF TOKYO EXPRESSWAY

和田 克 哉*

By Katsuya WADA

まえがき

首都高速道路は、昭和59年12月新たに供用開始された湾岸線、60年1月供用の足立三郷線を含め総延長173kmに達し、都市高速道路網はほぼ整備され、首都圏域まで拡大されつつある。このうち特に1号線から9号線に至る9路線は、都市高速道路の最も重要な部分を形成するとともに、東京23区全域に広がっている。

したがって、東京都心に起終点をもつ地下構造物、あるいは都市内構造物の施工は、何らかの形で高速道路に近接することが多く、年間20～30件の近接工事が行われている。

しかし、近接工事は既設構造物すなわち首都高速道路構造物（以下既設構造物で総称する）が多種多様に及び、その構造物の状況も一定ではないため、施工事例が多い割には統一基準が作成されず、各事例ごと施工者と管理者が許可条件内の施工計画承認事項として協議し、対策工法あるいは計測により安全性を確認しつつ処理しているのが現状である。

また近接施工では、近接する構造物あるいはその施工に伴う影響が既設構造物にどの程度及ぼすかの推定が大きな要素であり、地盤と構造物、地盤を介した構造物相互、の解析が必要となるため、現在の土質および基礎工学の最も難しい部分でもある。さらにこれら理論的な展開はもとより、近接施工では施工技術が大きな比重をしめ、過去の施工事例、施工実績が貴重な資料となる。

これらから、近接施工について首都高速道路公団に協

議されてきた約100件の事例と、これらの事例をもとに作成した首都高速道路に近接する構造物の施工指導要領書（案）の概要について以下述べてみたい。

1. 近接施工の検討手順

近接施工の検討手順を図-1に示した。近接施工の計画が定まると事前調査を実施し、その後の対策の度合を決めるため近接程度の判定を行う。近接程度は無条件範囲、要注意範囲、制限範囲に区分し、無条件範囲を除き既設構造物の安全度の照査、対策工法の検討、計測管理の計画を行い近接施工の設計施工計画を立案する。このうち既設構造物の安全度の照査とは、新設構造物の施工中ならびに完成後に、既設構造物に与える影響を考慮しその安全性を確認することである。

2. 調 査

近接施工は、一般の基礎工事で異なり地盤条件の調査不足等によりその結果の適用を誤まるとその構造物（新設構造物）のみならず既設構造物まで変状させることになる。この場合既設構造物は実用に供されており、その変状は社会的にも大きな影響を与える。

したがって近接施工のための調査は、一般の工事以上に精細にかつ適切に実施することが求められる。表-1には調査手法とその結果の適用をまとめた。このうち地盤の調査では、砂質土における湧水量の程度や被圧地下水の状態、粘性土における支持力が問題となることが多い。特に粘性土地盤では、掘削に伴う応力解放により地盤強度が低下する傾向があり、その地盤の強度把握には

* 正会員 首都高速道路公団 工務部設計技術課課長補佐
(〒100/東京都千代田区霞が関 1-4-1)

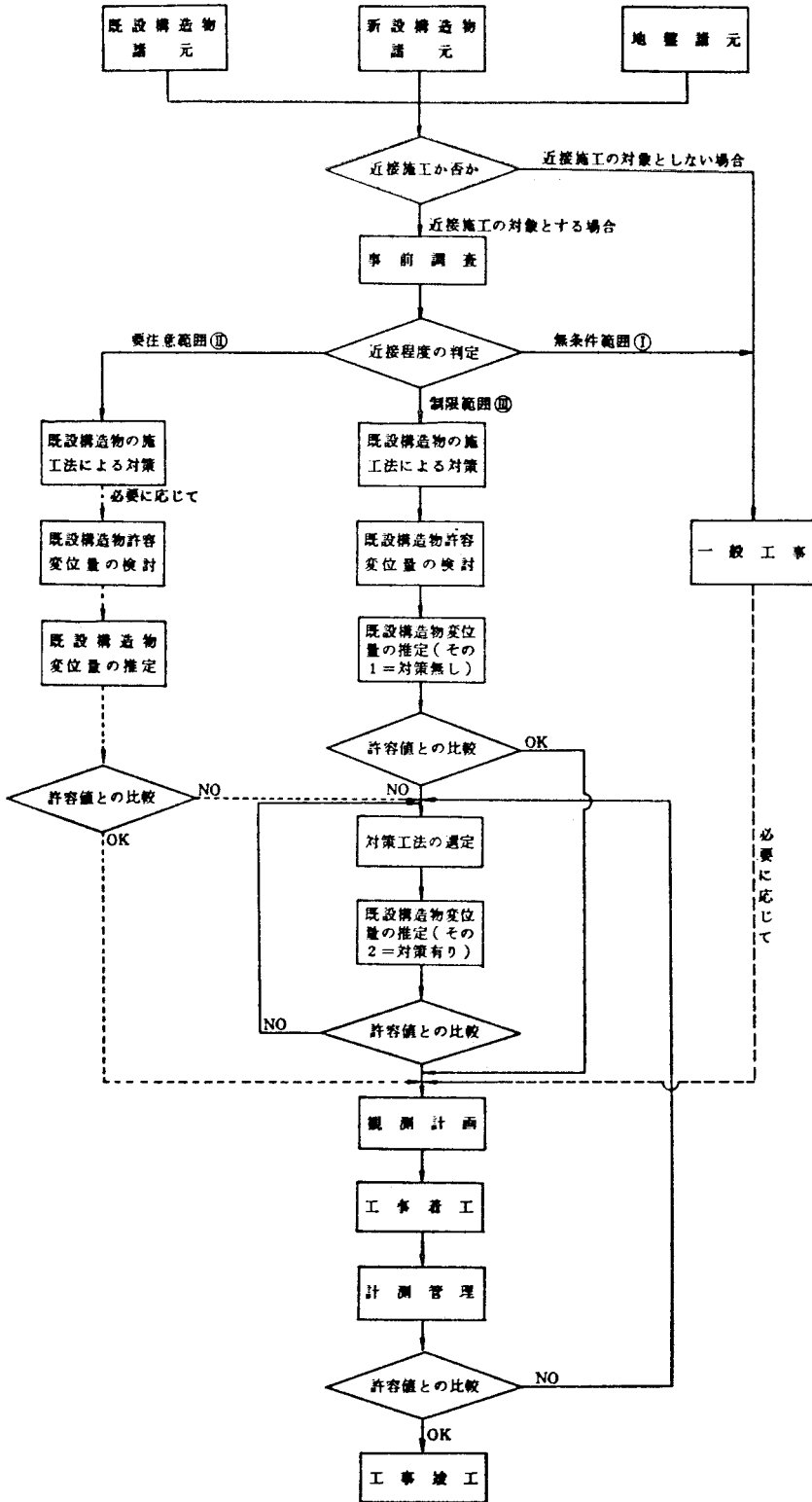


図-1 近接施工における検討手順

表一1 近接施工における調査法と結果の適用

調査項目	地盤の調査			土質物性の調査				FEM解析に 関する検討		備考
	地盤 調査 の 種 別	圧の 試験 と 下 討	ヒグ 試験 と 下 討	湧水 量 と 下 討	支の 持 力 と 下 討	土質物性値 と 下 討	土質物性 と 下 討	変形 特性 と 下 討	変形 特性 と 下 討	
ボーリング	◎	-	-	○	○	○	○	○	○	○
標準貫入試験 (N値)	○	-	-	-	◎	○	○	○	○	○
孔内水平載荷試験	-	-	-	-	-	◎	○	○	○	○
平板載荷試験	-	-	-	-	-	△	△	△	△	○
間アキ水圧、湧水量測定	-	-	-	◎	-	-	-	-	-	○
揚水試験	-	-	-	△	-	-	-	-	-	○
比重試験	-	△	-	-	-	-	-	-	-	○
含水量試験	○	○	△	-	-	-	-	-	-	○
粒度試験	○	-	-	○	-	-	-	-	-	○
液性・塑性限界試験	△	△	△	-	-	-	-	-	-	○
単位体積重量試験※1	△	○	○	-	-	-	-	-	-	○
一軸圧縮試験	-	-	◎	-	-	◎	○	○	○	○
三軸圧縮試験	-	-	△	-	-	△	-	-	-	○
非圧密非排水	-	-	△	-	-	-	-	-	-	○
圧密排水	-	-	-	-	-	△	△	△	△	○
強度低減率測定	-	-	△	-	-	△	-	-	-	○
圧密試験	-	◎	-	-	-	-	-	-	-	○
既往の資料その他の調査	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○

凡例 ◎：最もよく用いられる調査 ○：よく用いられる調査 △：状況に応じて用いられる調査

○：原則として、その調査で求めるのが望ましい。 ※1 土質試験法 (土質工学会) では「密度試験」に改定されているが、ここでは従来の表現を用いた。

△：状況に応じて用いられる調査

十分注意しなければならない。また土質物性値の調査では、近接施工に伴う土留壁の設計、新設構造物基礎の検討および FEM 解析を行うに際し必要となる土質物性値と、それを得るための調査法の関連を示した。

これらから、近接施工することにより解析しなければならないこととその解析法、そして設定すべき定数は何であるかを把握し、これらの設計定数を得るために最も適した調査を実施すべきである。

3. 近接程度の判定

首都高速道路に近接して施工された事例をまとめると表-2 に示される。工法別にみると、首都高速道路が都

表-2 首都高速道路に近接して施工された事例

記号	工 法	件 数	%
A	直 接 基 礎 工 法	52	55.3
B	打 込 み 既 製 杭 基 礎 工 法	4	4.3
C	場 所 打 込 ン グ リ ー ト 杭 基 礎 工 法	7	7.4
D	沈 埋 ト ン ネ ル 工 法	0	0.0
E	ニ ュ ー マ チ ッ ク ・ ケ ー ソ ン 工 法	2	2.2
F	シ ー ル ド 工 法	21	22.3
G	推 進 工 法	7	7.5
H	凍 結 工 法	1	1.0
計		94	100.0

市内の街路上に位置していることから、沿道のビルの新築あるいは改築工事が近接施工として行われているため、直接基礎が全体の約半数の 55.3% をしめている。次に都市内での電々工事、下水道工事、の大型化からシ

表-3 近接程度の範囲と検討内容

項目	用 語 の 定 義	設 計	施 工 (対策工も含む)	変状の観測
無条件 I	設計・施工に特別の注意を一般に要しないが、必要に応じて既設構造物の変状の観測を行う範囲。	特別の注意を一般に要しない。		必要に応じて実施する。
要注意 II	設計にあたり既設構造物に変状を与えないよう構造形式を選択するなどして新設構造物の設計を行ない施工時には、既設構造物に有害な影響を与えないよう最小限新設構造物の施工法による対策を実施し、変状の観測を行う範囲。	構造形式の選択などの配慮を行なう。	最少限、新設構造物の施工法による対策を実施する。	実施する。
制限 III	設計にあたり既設構造物に変状を与えないよう構造形式を選択するなどして新設構造物の設計を行うとともに、既設構造物の変位を定量的に推定し安全性を検討する範囲。	既設構造物の変位量を推定し、安全性をチェックする。	上記以外に他の対策工も実施する。	詳細に実施する。

表-4 近接程度の範囲

工 法	開 削 工 法	シ ー ル ド 工 法
無条件範囲 I	① $B_0 > 3 B_1$ (新設構造物の床付面が地下水位面以下の時) ② $B_0 > 2 B_1$ (新設構造物の床付面が地下水位面以上の時) ③ $B_0 > (Df_2 - Df_1) \tan(45^\circ - \phi/2) + B_1$ ただし、右辺の最大値は $4 B_1$ とする。	① $B_0 > 1.5 B_1$ ② $B_0 > (Df_2 - Df_1) \tan(45^\circ - \phi/2) + 1.5 B_1$ ただし、右辺の最大値は $4 B_1$ とする。
要注意範囲 II	③ $B_0 \leq B_1$ ④ $B_0 \leq (Df_2 - Df_1) \tan(45^\circ - \phi/2) - 2 c/r \tan(45^\circ - \phi/2)$ ただし、右辺の最大値は $3 B_1$ とする。	③ $B_0 \leq B_1$ ④ $B_0 \leq (Df_2 - Df_1) \tan(45^\circ - \phi/2) + B_1$ ただし、右辺の最大値は $3 B_1$ とする。
制限範囲 III	I III の条件のどちらにも該当しない範囲 ただし $B_1 < 5m$ の場合は $B_1 = 5m$ とする。	I III の条件のどちらにも該当しない範囲 ただし $B_1 < 5m$ の場合は $B_1 = 5m$ とする。

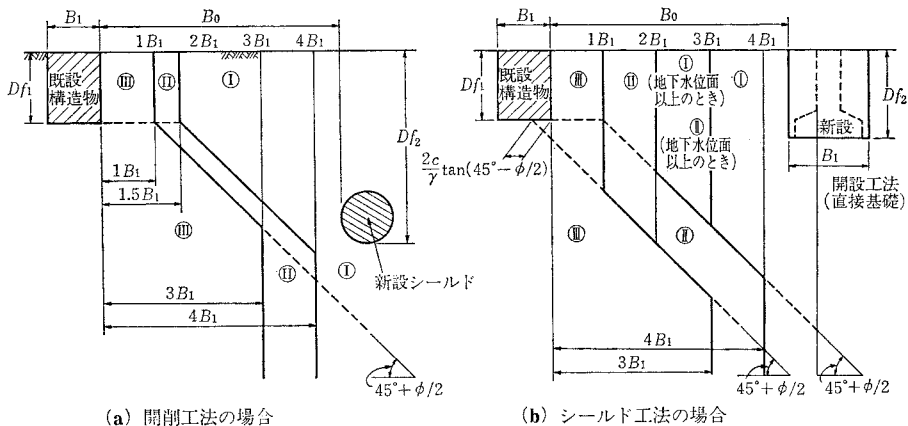


図-2 近接程度の範囲

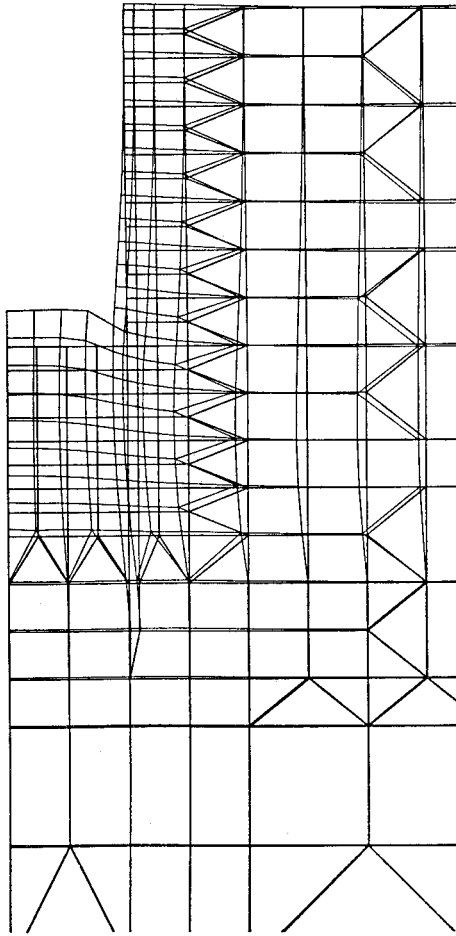


図-7 FEM 解析による地盤変位図

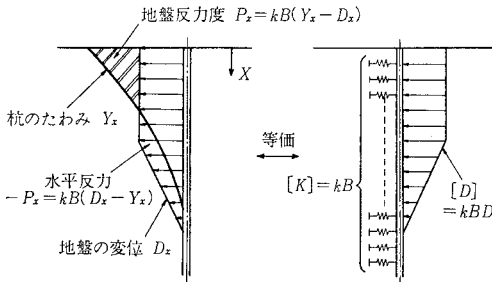


図-8 基本式概念と解析モデル

位として、また最終根切り底における解放力を節点荷重として各々入力して(図-6)、FEM 解析により土留め背面の地盤変位を求める(図-7)。

掘削に伴う地盤変位を考慮した既設構造物の安定計算は、弾性床の上のはり理論(変位法)により、図-8の解析モデルを用いる。地中部の基礎構造に作用する外力は、地盤変位が基礎に及ぼす応力と等価なものに換算して求める。地盤種別、仮設壁、掘削深さ等により地盤変位が

推定できれば、比較的容易に既設構造物の安定が計算可能となる。

5. 対策工法

近接施工の事例から対策の有無あるいは変位の傾向をみるため、図-9にまとめてみた。関数として近接距離(B_0)および地表面から既設構造物支持面までの深さ(D_{f1})と、新設構造物支持面までの深さ(D_{f2})との差をとり、既設構造物の種類、防護工の有無について示した。

また実測の変位量が計測されているものについては、その値を鉛直変位(V)、水平変位(H)として併記した。これらから直接基礎工法の場合、既設構造物の支持面から上下方向に各 10 m、既設構造物から水平方向に 10 m に囲まれた範囲(図-9に示す斜線部)に近接する施工は、既設構造物を防護することが多く、その変位量もほぼ 10 mm 以内で行われている。

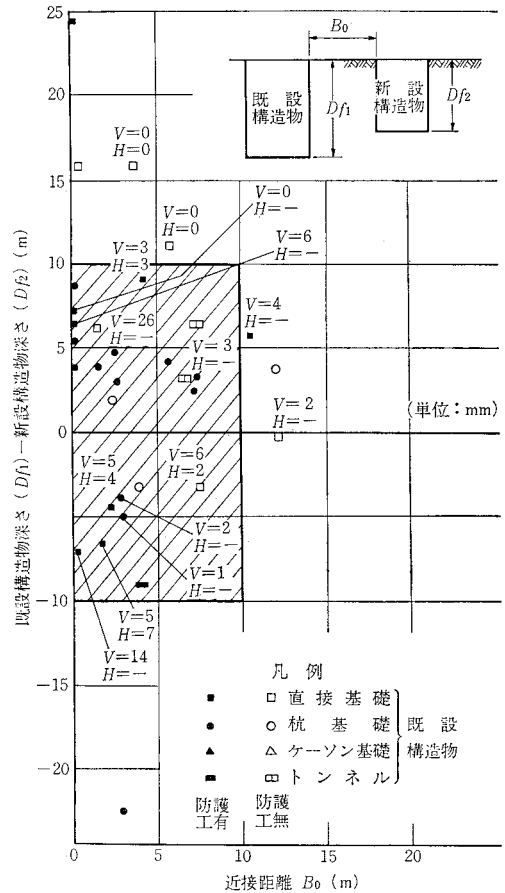


図-9 近接距離(B_0)と既設構造物深さ(D_{f1})と新設構造物深さ(D_{f2})との差による事例分布図

表-6 対策工法の種類

対策工法	対策項目	対策工法	対策項目
既設構造物の補強	a 仮受の設置 b プレーシングによる補強 c アンダーピニング工法 d 増し杭による補強 e 地中ばりまたはストラットによる対策 f アンカー工法 g タイロッドによる対策	新設構造物の施工法による対策	d オープン・ケーソン基礎工 i 沈下の際の周面摩擦力で減の検討 ii ケーソン断面の工夫 iii 掘越しに対する注意 iv ケーソンのたおれおよび移動の矯正法の検討 v 断面寸法の検討
地盤の強化・改良	a 薬液注入工法 b 噴射固結工法 c 石灰杭工法 d 深層混合処理工法	e ニューマチックケーソン基礎工	i 沈下の際の周面摩擦力で減の検討 ii 減圧沈下の禁止 iii 掘越しに対する注意 iv ケーソンのたおれおよび移動の矯正法の検討 v 停電時における対策 vi ブロー防止の対策
土留工の剛性増加や遮断防護工による対策	a 剛性の高い土留壁や切梁・腹起しの採用 b 切梁間隔の工夫 c 先行たわみを低減するためのプレロード工法 d 地中構造物を新設する場合の逆巻工法の採用	f シールド工法	i 適切なシールド形式の選択 ii 掘越しの禁止 iii シールドの傾きおよび移動の矯正法の検討 iv 停電時における対策 v ブロー防止の対策（圧風の大きさ） vi 適切なセグメントの採用 vii 掘進速度についての検討 viii 裏込め注入についての検討
新設構造物の施工法による対策	a 開削工法 i 適切な排水工の採用 ii 矢板の引抜きはの是否 b 打込み既製杭基礎工 i 杭打ち順序の工夫 ii 打込み抵抗の小さい杭の使用 iii プレ・ボーリングによる杭の挿入 iv 圧入工法の採用 c 場所打ちコンクリート杭基礎工 i オール・ケーシング工法の採用 ii 安定液による工夫 iii 孔内水頭の確保 iv 施工機械の足場強化 v 湧水の処理 vi 作業の連続性の検討 vii 掘削速度の検討（リバース） viii コンクリート打設の検討 ix バケット上昇時の処理	g 凍結工法	i 凍結壁の厚さの検討 ii 凍結用冷却管の配置の検討 iii 凍結温度の検討 iv 凍上防止についての検討（地下水位、地盤の透水係数） v 停電時における対策 vi 施工順序 vii 周辺への影響

近接施工における対策は、表-6 に示す工法がよく用いられており、これらについて近接施工の事例から対策工法を実施した 113 件を、既設構造物の種類と新設構造物の種類ごと、近接程度の範囲ごとにまとめたのが図-10 である。既設構造物の種別では（図-10(a)）、薬注、CCP 打設などの地盤改良による対策が 44% と最も多く、続いて土留壁の剛性による対策が 20% である。新設構造物の種別では（図-10(b)）直接基礎工（開削）と

シールド工法が大部分を占め、開削工法の場合では、地盤改良による対策と土留め壁による対策が、シールド工法の場合では全ケース地盤改良による対策が実施されていることがわかる。

これらの対策工法の選定は、地盤条件、構造条件、環境条件などにより異なり当事者間で協議のもと最終的に定められる。しかし、その判断は過去の施工実績がもとになり、経験的な知識が必要とされるため、判断によっ

表-7 対策工法の選定図表

新設構造物	既設構造物 対策工法 範囲の区分	直接基礎				杭基礎				ケーソン基礎				地中構造物 (トンネル)				設 事	
		①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④		
開削工法 (直接基礎)	制限Ⅲ	△	○	◎	-	-	○	◎	-	-	○	◎	-	-	○	◎	-	対策工法： ① 既設構造物の補強 ② 土留工の剛性増加や地盤の強化・改良 ③ 遮断防護工による対策 ④ 新設構造物の施工法による対策	
	要注意Ⅱ	-	△	○	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	-	○	-		
杭基礎工	制限Ⅲ	-	○	-	◎	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	-	△		○
	要注意Ⅱ	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	-	-		○
ケーソン基礎工	制限Ⅲ	-	○	△	◎	-	△	△	○	-	-	△	○	-	-	-	△	○	
	要注意Ⅱ	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	-	-	○	
シールド工法	制限Ⅲ	△	◎	○	-	-	○	△	-	-	○	-	-	-	-	◎	○	-	
	要注意Ⅱ	-	○	△	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	○	△	-	

ここに、◎：施工実績が多い、○：施工実績がある、△：施工実績が少ない、-：施工実績がほとんどない。
(注：上表において「新設」の凍結工法は制限範囲Ⅲでは禁止されているので省略した。)

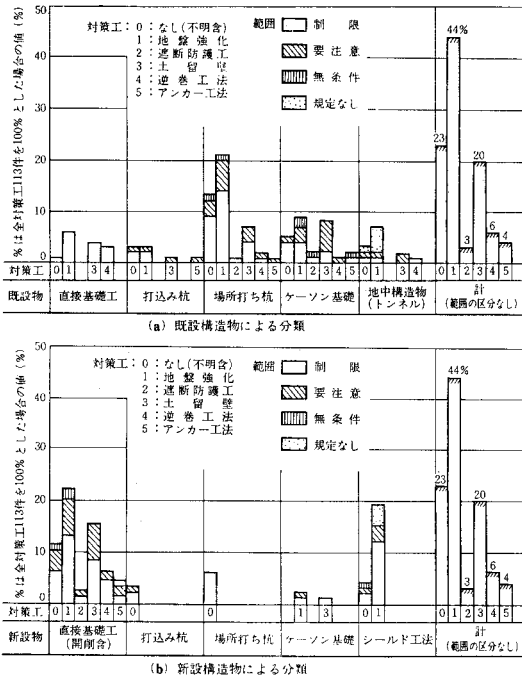


図-10 事例による対策工法の種類

では対策工法に大きな差が生ずる恐れがある。したがって、首都高速道路公団では 図-10 などの実施例をもとに、既設構造物、新設構造物の基礎形式と近接程度の範囲から対策工法が選定できるよう 表-7 を示している。

6. 計測管理

近接施工における計測管理は、計算上の推定値および実際の挙動と許容値を比較することにより、構造物と周辺地盤の安全性を確認するとともに、工事の進捗に伴うその後の挙動を推定し、事前に適切な処置を講じることが可能となる。

表-8 構造物の計測

測定種別	測定項目	範囲の区分		
		制限Ⅲ	要注意Ⅱ	無条件Ⅰ
既設構造物	変位 鉛直水平	○	○	○
	傾軋 体応力	○	○	△
山留め	山留め壁本体 土水変	△	△	
	切梁・腹起し	○	○	
既設物の補強工 遮断防護工など	対策工の変形	△		
	対策工の応力	△		

ここに、○：最少限実施するもの、△：必要に応じて実施するもの。

表-9 地盤の計測

測定種別	測定項目	範囲の区分		
		制限Ⅲ	要注意Ⅱ	無条件Ⅰ
周辺地盤	地表面変位 (鉛直水平)	○	○	△
	地表面伸縮量	△		
	層別沈下	○		
	地中変位	○	△	
	間ゲキ水圧	△		
地下水位の観測	排水量と地下水位の 変動	△		

ここに、○：最少限実施するもの、△：必要に応じて実施するもの。

すなわち計測管理は、施工管理指標としての設計、施工へ反映されることになり、同時に近接施工による構造物、周辺地盤に関する資料が蓄積され定量的な把握をすることができる。

これらから、近接施工における計測は、近接程度に応じて 表-8, 9 の項目について計測を実施するのが望ましい。

あとがき

近接施工の難しさは、既設構造物に多くの種類があり、かつ近接施工を考慮して余裕をもった構造物が少ないため、その影響を極力少なくすることはもとより、どの程度まで影響を与えても良いかの判断がしにくいことにある。したがって、ともすれば管理者は自らの構造物を守る立場から過酷な条件を賦して施工を強いることもある。これは、近接施工が既設構造物へ及ぼす影響について、ある精度で予測できないため安全側へと判断が傾いてゆくためでもある。逆に計算の精度が確保できないことを過去の施工実績により補うため、対策工法から出発することもある。

いずれにしろ、近接施工は狭い国土を有効利用するためには不可欠の問題であり、今後ともますます重要な、そして困難な課題として残されてゆくように思われる。この報告が近接施工における設計、施工に何らかの資料となれば幸いである。最後に、首都高速道路公団で実施した「既設構造物の近接施工に関する調査研究」(委員長：吉田敏氏、青木重雄氏)にご参加いただき貴重なご助力をいただいた皆様に紙上を借り厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 首都高速道路公団保全施設部：首都高速道路に近接する構造物の施工指導要領書(案)、昭和57年4月。
- 2) 首都高速道路協会：既設構造物の近接施工に関する調査研究報告書、昭和53年3月、昭和54年3月。
- 3) 日本国有鉄道：近接橋台橋脚の設計施工指針(案)、昭和42年3月。

(1985.1.9・受付)