

首都高速道路公団における近接施工と対策

MOVEMENT CAUSED BY THE NEIGHBORING CONSTRUCTION AND ITS PROTECTION IN TOKYO METROPOLITAN EXPRESSWAY PUBLIC CORPORATION

わ だ かつ や
和 田 克 哉*もり かわ
森 河ひさし
久**みず だまり
水 溜ひろ ゆき
廣 幸***

1. ま え が き

首都高速道路は昭和55年1月新たに供用開始された9号線、湾岸線を含め総延長138kmに達し、都市内高速道路網はほぼ整備されつつある。この1号線から始まり9号線に至る9路線は、都市高速道路の最も重要な部分に位置し、東京都23区の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。これら近接施工に関する研究は、昭和52年から「既設構造物の近接施工に関する調査研究」として委員会を組織して始められ2年間の研究を終えた。以下ここではこの研究の概要について触れるとともに、逆の立場から高速道路建設に伴う近接工事の例について述べてみたい。

2. 近接工事の種類

首都高速道路に近接して行われる工事は軽微なものを除

表—1 近接施工法の種類

(53. 1.20 現在)

近 接 施 工 法 の 種 類	件 数	比 率(%)
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. 場所打ちコンクリート杭基礎工法	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

*首都高速道路公団 保全施設部保全企画課

**首都高速道路公団 湾岸線建設局 調査課

***首都高速道路公団 湾岸線建設局 浦安工事事務所

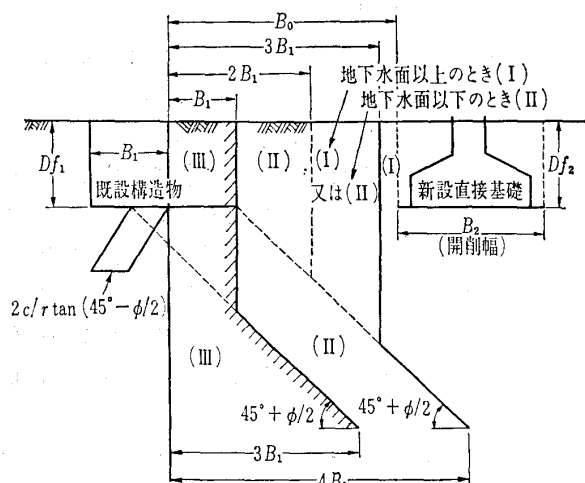
き、表—1、表—2に分類できる。施工法は圧倒的に直接基礎工法が多く、全工事数の半数以上を占めており、この工事の対象となる構造物はビルの新設あるいは改築工事が比較的多い。

次に都市内での電々、下水工事の大型化に伴うシールド工法による工事が22%行われ、直接基礎工法と合わせて約80%がどちらかの工法で施工されていることになる。

また、表—2に示す近接度の分類は、首都高速道路公団「既設構造物に近接する基礎構造物の設計施工指針（暫定案）」に基づくものであり、図—1、表—3に直接基礎工

表—2 近接施工範囲と件数

範 囲	件 数	比 率(%)
I. 無 条 件 範 囲	3	3.2
II. 要 注 意 範 囲	4	4.3
III. 制 限 範 囲	86	91.5
IV. 禁 止 範 囲	1	1.0
計	94	100.0



図—1 新設構造物が直接基礎工の場合の範囲

表-3 近接施工の範囲（首都高速道路公団規定値）

範囲の値	
範囲の種類	範　囲　の　値
無条件範囲 (Ⅰ)	(1) $B_0 > 3 B_1$ (新設構造物の床付け面が地下水位面以下の時) $B_0 > 2 B_1$ (" 以上の時) (2) $B_0 > (Df_2 - Df_1) \tan(45^\circ - \phi/2) + B_1$ 右辺の最大値は $4 B_1$ とする。
制限範囲 (Ⅲ)	(3) $B_0 < B_1$ (4) $B_0 \leq (Df_2 - Df_1) \tan(45^\circ - \phi/2) - 2c/\gamma$ $\tan(45^\circ - \phi/2) \leq 3B_1$
要注意範囲 (Ⅱ)	(Ⅰ)(Ⅲ)の条件のどちらにも該当しない範囲

ここに、 Df_1 ：地表面からの既設構造物の根入れあるいは底面深さ
直接基礎：フーチング深さ
 Df_2 ：新設構造物の根入れ深さ（全長）、掘削底面の深さ
 B_0 ：既設構造物と新設構造物との間隔あるいは既設構造物と凍結面
又はシールドとの間隔
 B_1 ：既設構造物の基礎幅あるいは構造幅
 c ：土の粘着力
 r ：土の単位体積重量
 ϕ ：土の内部摩擦角

表一4 近接施工と検討内容

範 囲	検 討 内 容
無条件範囲 (Ⅰ)	この範囲に新設構造物が入る場合には、設計・施工に特別の考慮を一般的には要しない。ただし必要に応じて既設構造物の変状の観測を行う。
要注意範囲 (Ⅱ)	設計に当たり一般的な考慮をはらい、施工時には既設構造物に有害な影響を与えないような工法の選択を行い、変状の観測を行う。
制限範囲 (要対策範囲) (Ⅲ)	設計・施工に当たって特別の考慮をし、既設構造物に有害な影響を与えないよう十分な対策工、防護工を当初より計画する。同時に施工時には変状の観測を行う。
禁止範囲 (Ⅳ)	凍結工法に対してのみ適用する。 この範囲内で凍結を行ってはならない。

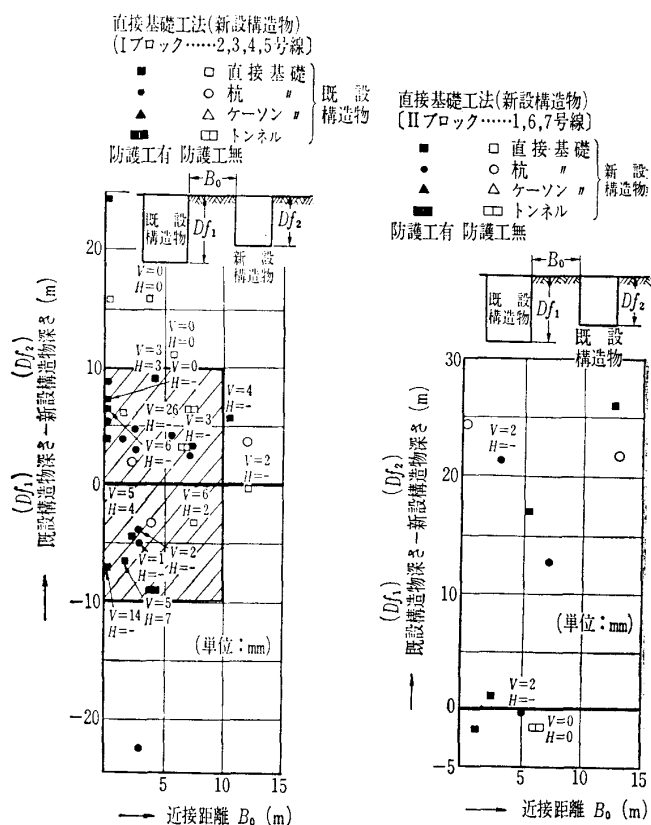
法の場合について示した。制限範囲内（表－４）の工事がほとんどであり、無条件あるいは禁止範囲の場合も例外的に行われている。

3. 近接距離と対策工法

近接距離と深さとの関係を実施例からまとめてみた。

工法別分類に示したとおりその大半を占める直接基礎工法とシールド工法を対象とし、土質状態が比較的良好な路線(図-2)と多少軟弱な路線(図-3)に区分した。その関数としては近接距離(B_0)及び地表面から既設構造物支持面までの深さ(Df_1)と、新設構造物支持面までの深さ(Df_2)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。

比較的良好な地盤でも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 10m、既設構造物から水平方向に10mに囲まれた範囲（図-2 に示す斜線部）に近接す



図一2 直接基礎工法における
近接距離と深さの関係
(良質地盤)

図-3 直接基礎工法における
近接距離と深さの関係
(悪い地盤)

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。

シールド工法による場合（図—4）は既設のトンネル直

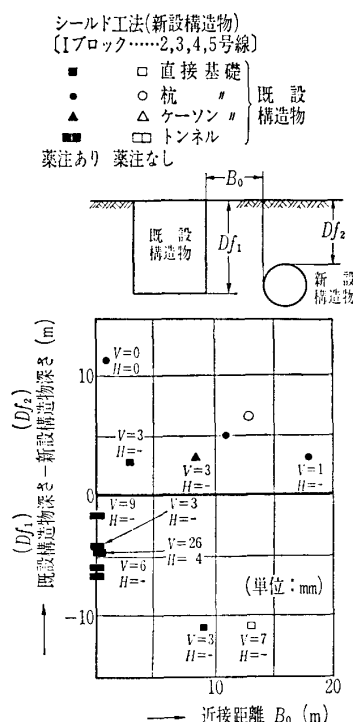
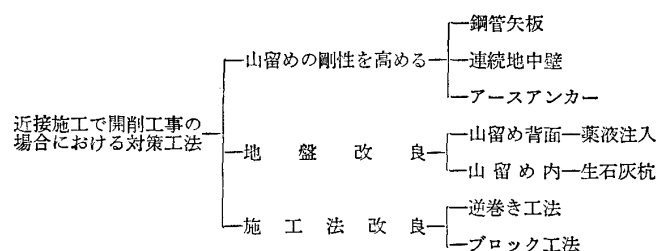


図-4 シールド工法における近接距離と深さの関係

表一 5 近接施工で開削工事の場合における対策工法の分類

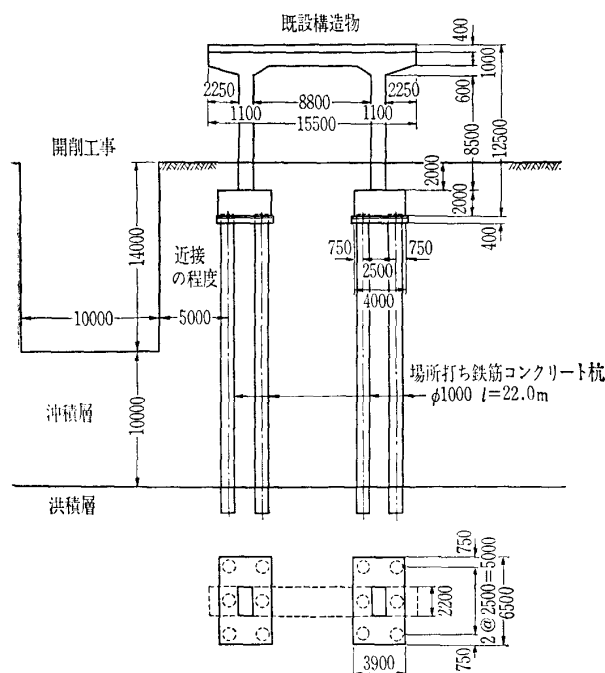


下を抜ける施工が多くみられ、そのほとんどがセグメントと地山間の空隙部に薬液注入を実施している。

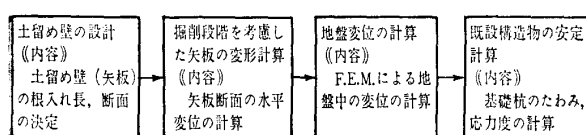
この防護方法は既設構造物あるいは新設構造物の構造形式、規模、重要度、施工法、近接度、などによって当然異なったものとなるが、開削工法を例にその対策工法をまとめてみると表一 5 に示される。対策工法は主として新設構造物を施工する段階における既設構造物への影響を極力小さくするために行われることが多く、完成後地震時の挙動などの影響を考慮して補強されることは少ない。

4. 近接施工の既設構造物に及ぼす影響の解析

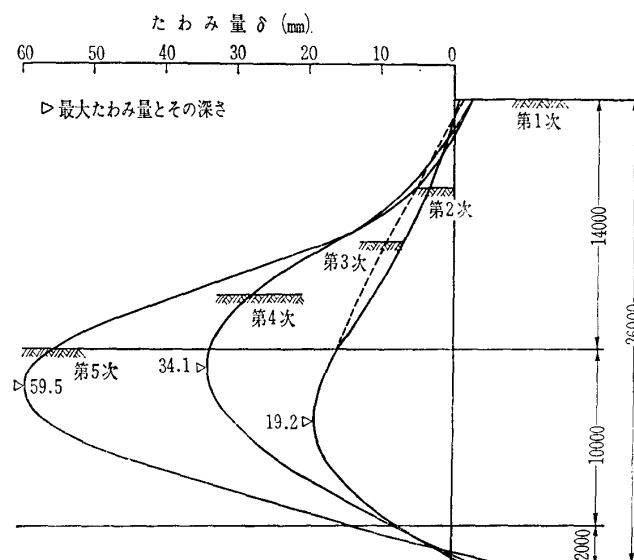
近接施工が既設構造物に及ぼす影響を図一 5 の開削工事を例に図一 6 に示す計算順序に従い解析してみた。矢板の変形は掘削段階を考慮した弾塑性解析により計算し（図一 7）、この土留め壁のたわみ分布を強制変位として、また



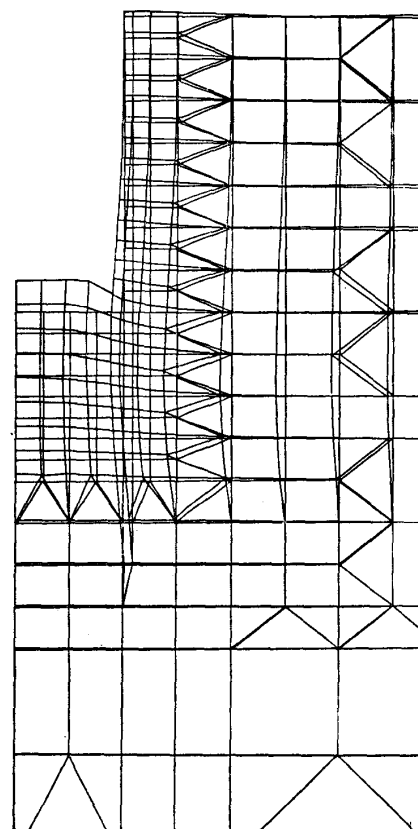
図一 5 近接施工解析モデル図



図一 6 計算の順序



図一 7 各掘削段階におけるたわみ分布



図一 8 F.E.M 解析による地盤変位図

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 F.E.M 弾性解析により土留め背面の地盤変位を求めた（図一 8）。

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土のはり理論（変位法）によることとし、図一 9 の解析モデルを用いた。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た。また場所打ち杭ではコンクリートのひび割れにより剛

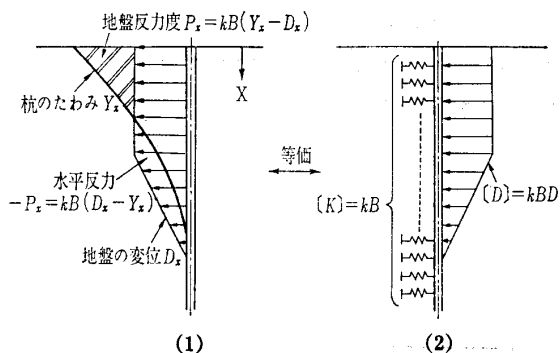


図-9 基本式概念と解析モデル

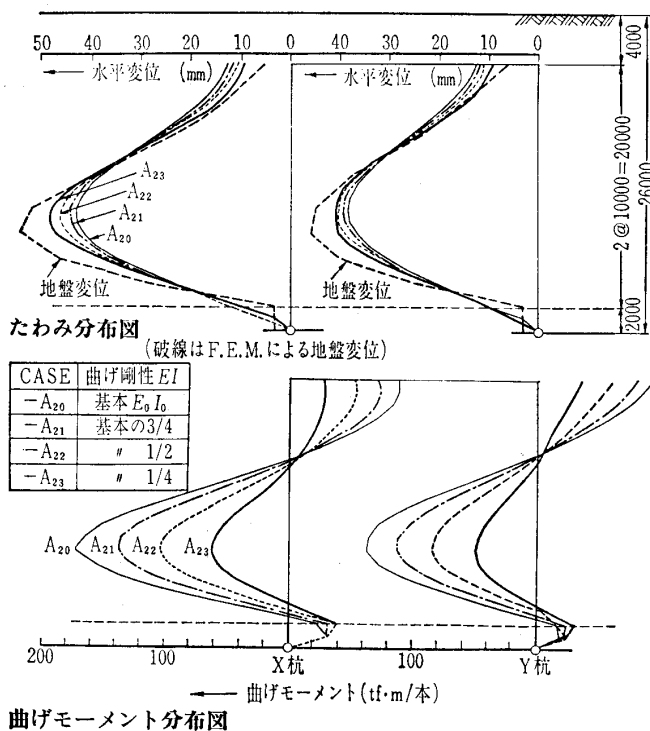


図-10 剛性の低下による比較

性が低下するため、杭体の曲げ剛性を 3/4, 1/2, 1/4 とし計算した (図-10)。

曲げ剛性が低下するにつれ、杭のたわみは地盤変位分布に近づき曲げモーメントは低減する。図-10の最大曲げモーメントを生ずる断面における応力度を常時の軸力を加えて表-6を求めた。

これらの結果から、ここで触れた解析法によれば近接施工による地盤変位の影響は既設構造物に過大な応力を生じせしめ、その対策が必要であることを示している。

5. 近接施工例

首都高速道路公団における近接施工は、いままで述べてきた高速道路に近接して他の構造物がつけられるいわば管理側としての立場からのものと、逆に他の構造物に近接して高速道路をつくらなければならない建設側としての立場

表-6 杭体の断面力及び応力度

(掘削による影響+常時)	軸力 (tf)	曲げモーメント (tf・m)	σ_c (kgf/cm ²)	σ_s (kgf/cm ²)	諸元
CASE-A ₂₀	222	163	270	3 650	RC杭: φ1000 A _s =D32-12本 $\sigma_{ca}=80\text{kgf/cm}^2$ $\sigma_{sa}=1600\text{kgf/cm}^2$ 常時軸力 N=150tf 常時モーメント M=0 tf・m
" A ₂₁	211	138	220	3 490	
" A ₂₂	197	103	170	2 410	
" A ₂₃	176	62	90	800	

からのものがある。

以下の施工例は、見方をかえる意味からも高速道路建設に伴う近接施工の例について触れる。

5.1 施工概要

首都高速湾岸線は、東京湾環状道路の一環として総幅員100mの中央部分35mを占め、両側に国道が建設される。したがって国道部分には各種の道路付属構造物が計画あるいは施工されているため、高速道路建設に当たってはいたる所で近接施工が行われる。

千葉縣市川市行徳地区の建設においても既に共同溝が国道部分に施工されており、橋脚工事に伴うPC杭あるいは鋼矢板打設による振動が共同溝に与える影響を評価する必要がある。この影響を事前に予測することは現状ではかなり難しく、ここでは本施工に先立ち試験施工を実施し、共同溝及び周辺地盤の挙動を観測することによりその後の影響を予測した。

調査場所の橋脚と共同溝の関係、土質柱状図及び測定計器の配置は図-11に示した。共同溝は約40mを1ブロックで、深さ約3mから7mにわたる基礎で構築されている。周辺地盤は地表面より沖積層のシルト層、緩い砂層からなり共同溝は地下水位面以下に位置している。

橋脚基礎はPC杭径1m、長さ31mで、支持層に達するまでアースオーガーで中掘りし、支持層(N値50以上の砂層)に5m程度を45t級ディーゼルハンマーにて打撃し打ち止めている。土留め鋼矢板はIV型を使用し長さ10.5mで、打ち込み、引抜きとも40HPバイブロハンマー工法を採用した。

このように砂質土層に基礎を根入れしている地中構造物に加振型の機械を用いて地盤に振動を与える場合、その影響は構造物そのものよりむしろ、砂層の液状化などによる地盤変位の方が大きいと予想される。

5.2 測定項目

(1) PC杭打設による影響測定

① 共同溝内の加速度

共同溝への影響を考慮して、共同溝から離れた橋脚基礎杭 No. 18, 14, 5, 1の順にディーゼルハンマーで打撃した時の、打止まり前10打の振動加速度を水平2成分、上下成分の加速度計により測定。

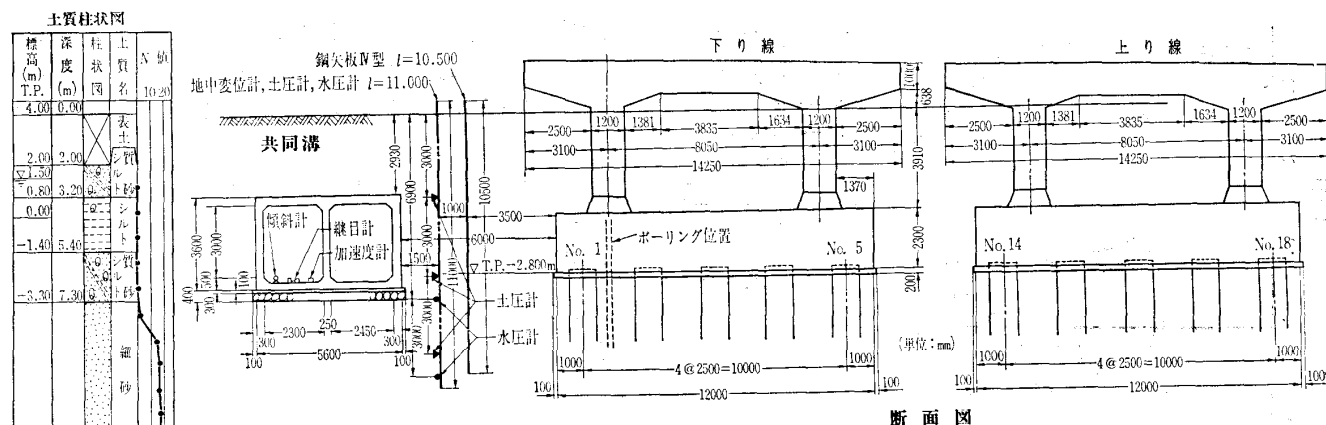


図-11 測定箇所及び計器取付け位置

② 共同溝の傾斜

橋脚基礎杭打設時、1日1回共同溝内の箇所を設置した2成分傾斜計により、共同溝延長方向、横断方向の傾斜を静的に測定。

③ 共同溝継手部の挙動

傾斜の場合と同様に、ブロック間の相対移動量を両ブロックを挟んで取り付けた継目計により、共同溝の延長方向、横断方向、上下方向について、静的に測定。

④ 共同溝の変位及びクラック

強制換気孔に設けた測定点について、静的測定に準じて水平、上下方向の変位を測量により1回1測定。また、1か月に1度共同溝内のクラックの変状調査。

(2) 鋼矢板打込み、引抜きによる影響

① 共同溝内の加速度

共同溝より2.5m離れた位置に、共同溝と平行して5枚の鋼矢板打込み、引抜きを行い、基礎杭打設試験と同じ箇所共同溝内の加速度を測定した。この場合、記録は鋼矢板施工の各段階において、連続的に測定。

② 共同溝の傾斜

鋼矢板の打込み、引抜き前後において、基礎杭打設の場合と同様に測定。

③ 共同溝継手部の挙動

傾斜の場合と同様に測定。

④ 共同溝の変位及びクラック

基礎杭打設の場合と同様に測定。

⑤ 周辺地盤の土圧

鋼矢板と共同溝との間の地盤内に3個の土圧計を取り付けた鋼矢板を打設し、打込み、引抜き時の各施工段階に地盤内の水平土圧を測定。

⑥ 周辺地盤の間隙水圧

鋼矢板と共同溝間の地盤内に2個の間隙水圧計を設置し、鋼矢板打込み、引抜き時に動的に、その前後は静的に測定。

⑦ 周辺地盤の水平変位

鋼矢板と共同溝間の地盤内にガイド管を埋設し、管に挿入した挿入型傾斜計により測定した傾斜から積分して変位を求めた。傾斜の測定は、頭部より1mごとに行い、鋼矢板打込み、引抜き前後に測定。

5.3 測定結果

(1) 杭打設による加速度

図-12は、PC杭打設により共同溝内で測定した加速度の現象波形の一例を示したものである。この加速度波形は、最初に伝わってくる高周波数(約400Hz)の波と、それよりかなり遅れて伝わる低周波数(約50Hz)の波とで構成されている。伝ば速度から推定すると、高周波数の波は飽和土層を伝わる圧縮波(伝ば速度700m/s)であり、低周波数の波は同じ層を伝わる横波(伝ば速度170m/s)であろうと考えられる。高周波数の波の加速度は、低周波数の波の加速度より大きいものが多いが、一方速度は波形からみると逆に低周波数の波の方が大きくなるものと思われる。それゆえ、共同溝に与える振動の影響は、低周波数の波の方が大きいと思われる。

そこで、図-13には低周波数の波の加速度について、各測定断面ごとに最終打撃10打の最大加速度の平均値と、測定点から杭打設点までの水平距離をプロットしたものである。共同溝延長方向の加速度は、距離が遠いほど小さくなり伝わる波の減衰することを示しているが、他の2方向の加速度は、必ずしも距離による減衰を示していない。これは、杭打ち振動が種々の因子に影響されるためであろう。

(2) 杭打設による砂層の液状化の判定

図-14には、PC杭打ち振動を地震による振動とみなして、液状化判定を行った結果を示したものである。判定方

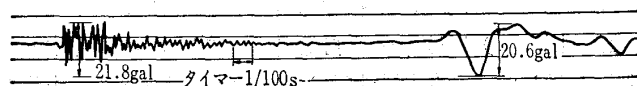


図-12 No.18 ⑩ 杭打ちによる加速度の現象波形の一例

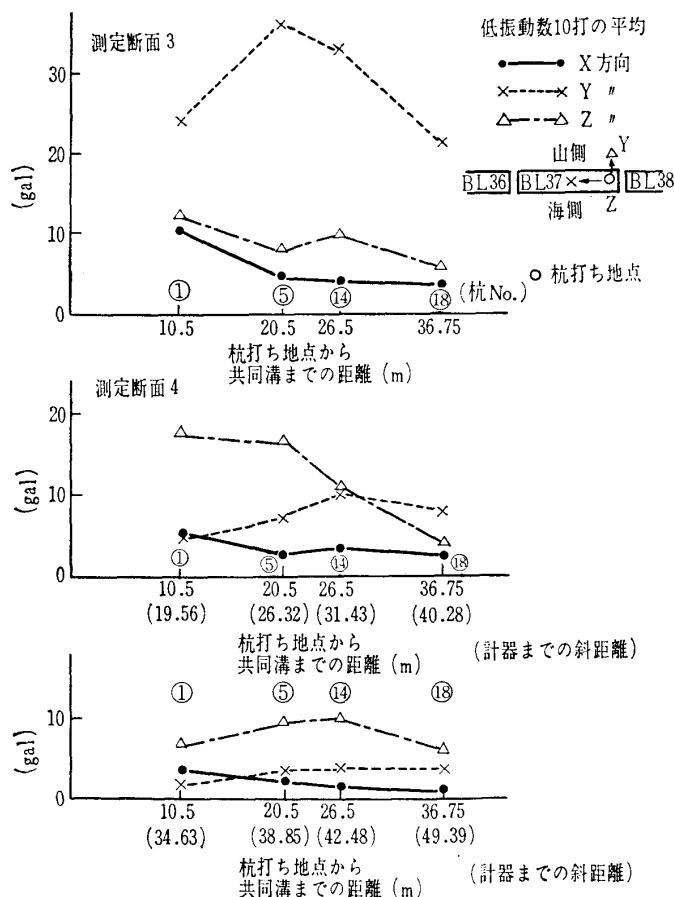


図-13 杭打ちによる加速度と距離関係図

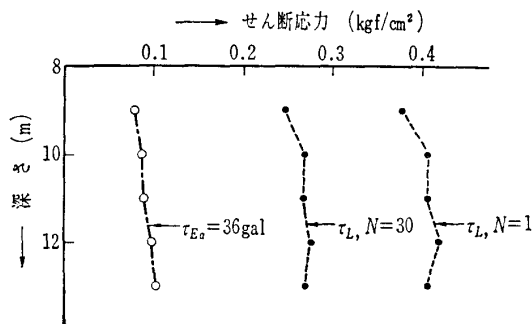


図-14 流動化判定の一例

法は簡易判定式⁷⁾によっており、その結果は、最大加速度 36 gal から求められた平均せん断応力 ($\tau_{E\alpha}$) が、抵抗せん断応力 (τ_L) 以下であることを示している。もちろん、杭打設振動は地震による振動に比べて振動数が高く、振動の強さが各地点で異なることから、簡易判定式を全面的に適用することはできないが、地震動より安全側の判定を与える。すなわち、液状化と判定されても局部的と考えられ、今回の変状調査の結果から共同溝には、ほとんど影響がないことが推察される。

(3) 鋼矢板打込み、引抜きによる土圧、水圧の変化

図-15. (a) には鋼矢板打込み、引抜き時の間隙水圧の変化を示した。鋼矢板を打ち込むと動的間隙水圧は上昇し、打込み後上昇した間隙水圧の一部は残留している。動的間

隙水圧の最大値から求められた過剰間隙水圧の有効上載圧の割合は60%に達しており、鋼矢板打込み時の共同溝の加速度約 5 gal (21 Hz) と考え合わせると予想外に間隙水圧の上昇があった。しかし、鋼矢板打込み、引抜きによる共同溝の変状は、極めて小さいものであった。

図-15. (b) は鋼矢板打込み、引抜き時の水平土圧の経時変化を示したものである。鋼矢板の打込み枚数の増加とともに残留土圧は増加する。しかし、鋼矢板を引き抜くと打込み時増加した残留土圧は低下し、打込み前の土圧より小さい値となる。

(4) PC 杭打設による共同溝の変位

図-16には PC 杭打設による共同溝の変位を継目計で測定したもので、38ブロックを不動とした37ブロックの経時変化である。杭 No. 18, 14 の打設により37ブロックは33ブロックとの間を縮める方向、打設点と反対方向、また、隆起方向に約 1 mm 動き、その後、No. 5, 1 の打設までの期間は、ほとんど動かなかった。No. 5, 1 の杭打設に伴い37ブロックは38ブロックの方向、打設点の方向に動いた

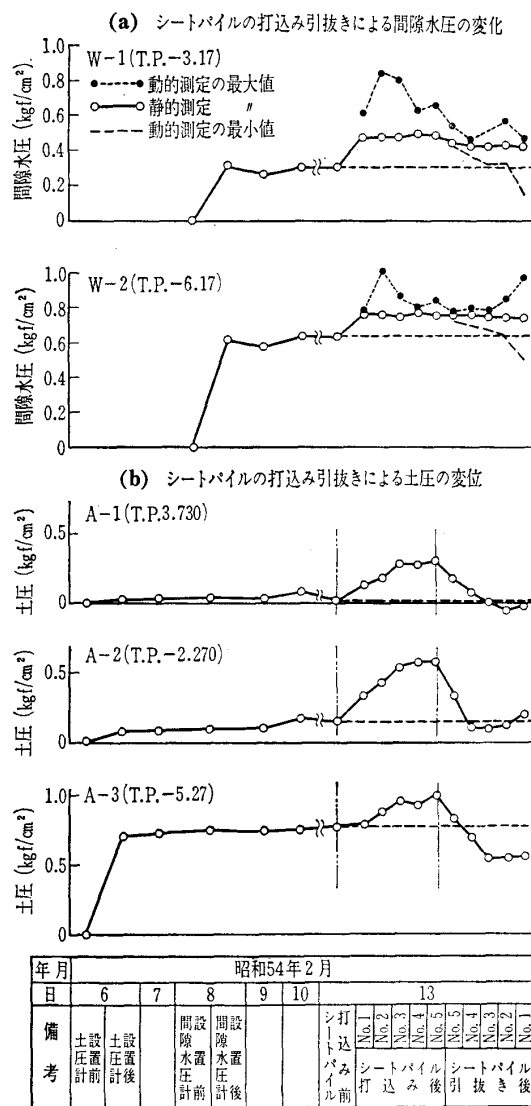


図-15 間隙水圧の変化・土圧の変化

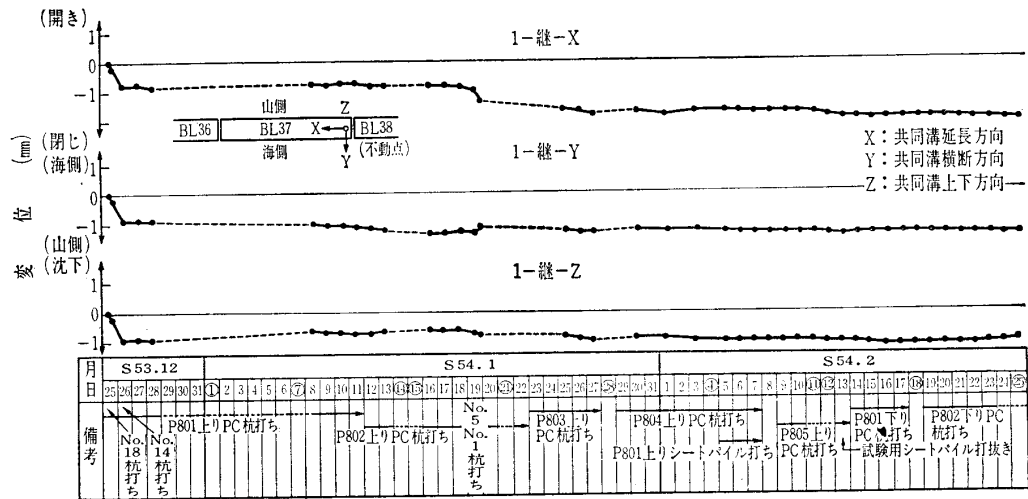


図-16 継目計測定結果

が、38ブロックの方向の動き（約 0.5 mm）が最大で他方向への動きは小さい。

本調査に基づき、PC 杭打設及び鋼矢板打込み、引抜きが及ぼす共同溝への影響は小さいと判定し、工事を進めたが、その後、影響があったとは報告されていない。このように今回の調査は、工事への事前調査としての役目を果たしたと思われるが、調査方法としては必ずしも十分であったとは思えない。したがって、近接施工に伴う事前調査方法の確立が待たれるところである。

6. あとがき

首都高速道路公団における近接施工について、施工される立場と施工する立場からその現状に触れてみた。近接施工の難しさは、既設構造物に多くの種類があり余裕のある構造物が少ないため、その影響を極力少なくする努力を重ねつつ、どの程度までの影響を与えても良いかの判断が明確でないことにありともいえる。

したがって、ともすれば過酷な条件を賦して施工を強いることもある。これは近接施工の影響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ことにも起因している。

現在首都高速道路公団においては前述したとおり「既設構造物の近接施工に関する調査研究」として委員会（委員長吉田巖氏）により、これらの問題点について議論を始めたところである。今回その一部について報告³⁾させていたが、最終成果が得られた折に別の機会を借り報告させていただきたい。

最後に吉田巖氏を委員長とする研究委員会の諸氏、本報告取りまとめにご尽力いただいた保全施設部、湾岸線建設局の皆様は紙上を借り厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 首都高速道路協会：砂層の流動化に関する研究報告書，昭和50年3月
- 2) 森河・水溜：PC くい打設にともなう近接構造物への影響調査，第13回日本道路会議一般論文集，1979.10
- 3) 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
(原稿受理 1980. 3.21)

※

※

※