

地すべり対策工における 深礎杭の計測施工

神戸管理部 保全課 岩永 巧
神戸第一建設部 北神戸工事事務所 中尾 次生
工務部 工務第二課 熊添 裕治

要 約

北神戸線下谷上第3工区は、六甲山の北斜面裾野に位置し、その下方には北神戸急行電鉄および神戸電鉄有馬線が走っており、計画道路に並行して山田断層がある地すべり地帯である。

施工に際しては、試験施工としてφ3.0mの2本の深礎杭を補助工法（薬液注入）の有無で比較を行い、その評価を踏まえて掘削工法を決定するとともに、計測管理として深礎杭施工時の斜面安定性および北神戸急行電鉄トンネルの浮き上がり現象ならびにトンネル覆工の変状観測を行うことにより、残り48本の施工を行っている。本稿では、これらの施工および計測について報告するものである。

キーワード：地すべり、抑止杭、断層、計測管理

まえがき

北神戸線で現在、下部工が施工されている下谷上第3工区は、六甲山地と帝釈山地に挟まれた東西に長い盆地状地形を形成した谷部に位置している。

この盆地状地形は、六甲山地と帝釈山地が隆起し、その間部分が残されたことにより形成されたもので、山田川を中心に平坦な地形を呈するが、盆地の南北に位置する断層を境に急傾斜の山腹斜面と変化し、六甲・帝釈の両山地へ続いている。

当該工区は、この盆地の南側斜面裾野に位置し

ている。図-1には計画ルート、図-2に工区の平面図を示す。盆地南側の平坦部と山地部の境には、山田断層が北神戸線ルートとほぼ並行して東西に走っている。

この山田断層は、第四期に入った後も活動が認められるもので、六甲山が隆起した際の逆断層である。断層の南側（山側）には有馬層群が、北側（谷側）には神戸層群が分布している（図-3参照）。有馬層群は、主に流紋岩質凝灰岩で構成されており、神戸層群は、砂岩、泥岩、礫岩等の堆積岩から構成されている。

この斜面では、ボーリング調査の結果、神戸層群、有馬層群と山田断層の隆起によって崩落した土の層である崖錐層との境界面にすべり面が形成されていると考えられ、道路構造物施工中や完成後に斜面崩壊の恐れがある。そこで、地すべり対策工として深礎杭を施行することにした。

本稿では、このような地すべり地帯における深礎杭の施工および、深礎杭掘削時の地山の挙動に対する計測管理結果について報告する。

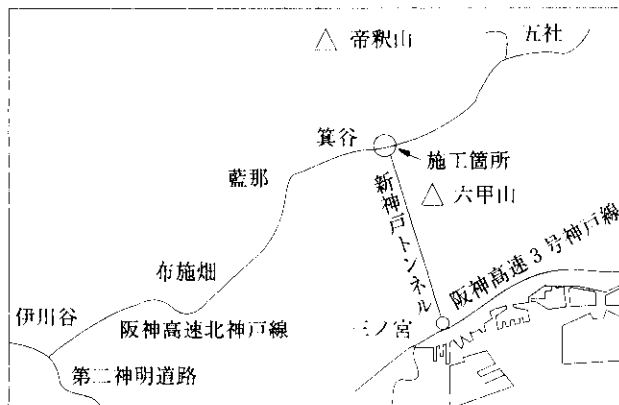


図-1 北神戸線の計画ルート

1 深礎杭の施工

φ4.0m 10本 平均深さ 34.5m

φ5.0m 17本 平均深さ 28.5m

1-1 抑止杭（深礎杭）

本工区で地すべり抑止杭としての深礎杭の工事数量は、径ごとに分類すると以下のとおりである。

φ3.0m 23本 平均深さ 28.5m

1) 試験施行

試験施工の目的は、地山条件の異なる2本の深礎杭で、その施工性および地山挙動の相違等について比較検討し、掘削時に薬液注入工が必要か否

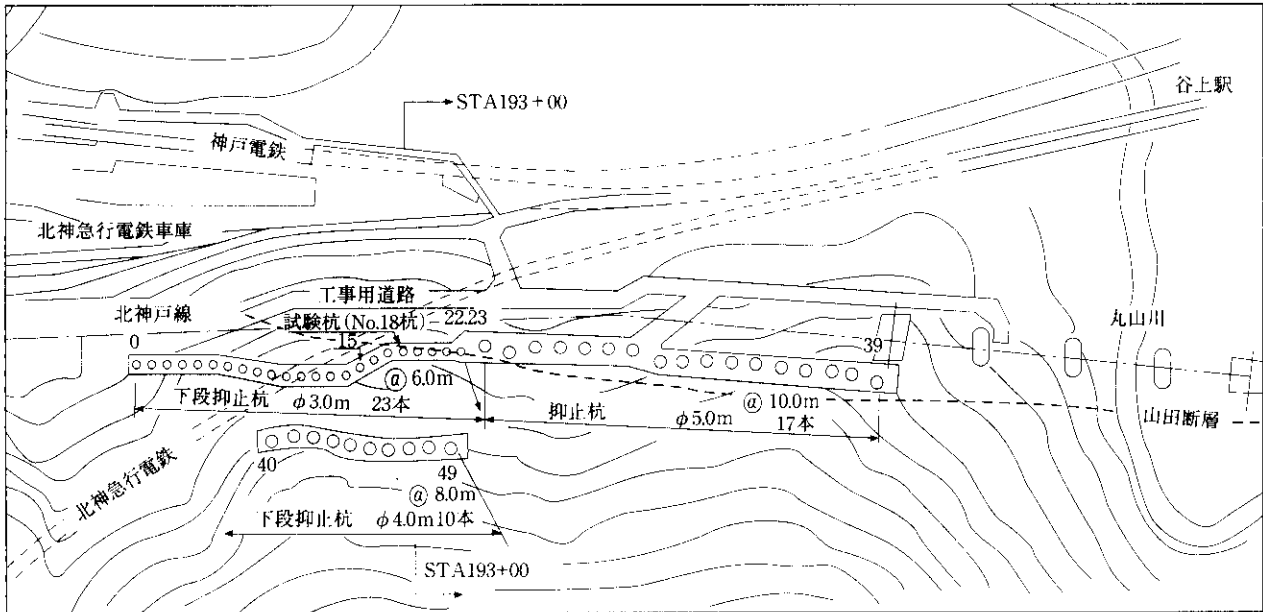


図-2 工区平面図

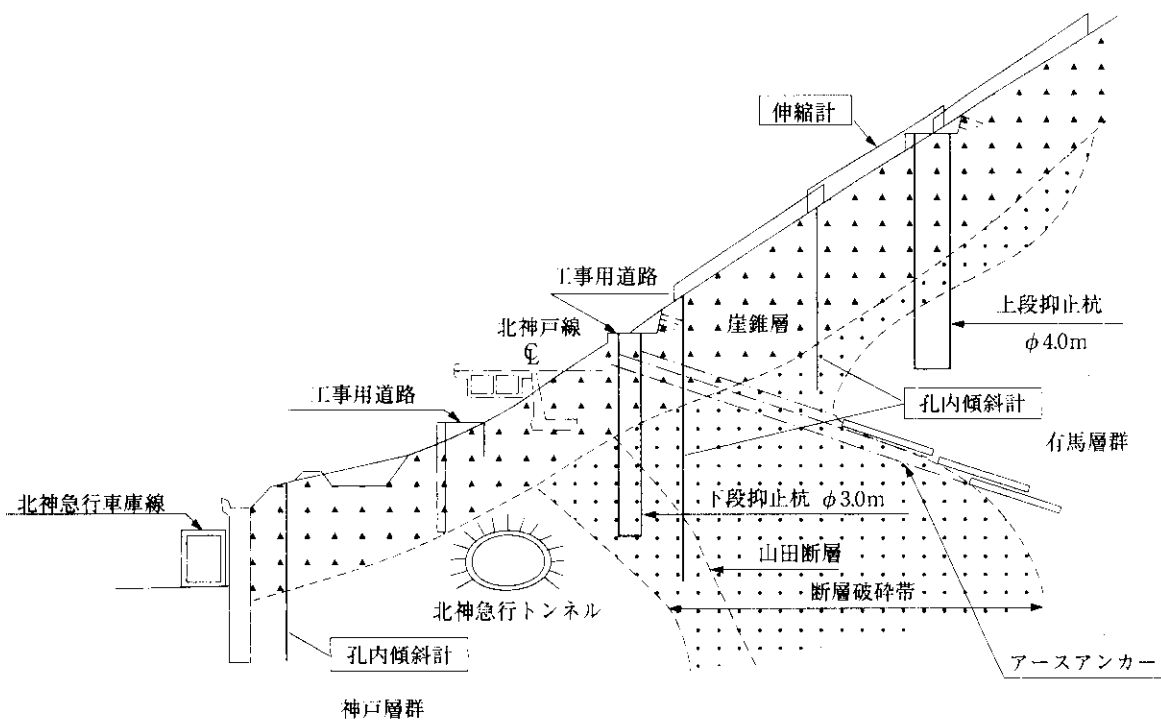


図-3 標準断面図 (STA193+00)

かを判定することである。

そこで一方の試験杭（No.15杭）は補助工法を用いずに通常の掘削工法で、他方の試験杭（No.18杭）は掘削面周囲に改良域が1.0mとなるよう薬液注入を実施し施行した。

両試験杭の杭間隔は18mであり、試験杭No.18杭はNo.15杭の斜面斜め下方（北方向7.5m、東方向16.5m、高低差7.6m）に位置している。また、掘削は常にNo.18杭の掘削が先行するよう実施した。

試験施行での比較項目とその結果を表-1に示した。

掘削速度は、差がそれほど顕著に現れなかった。その理由としては、地質的にNo.15杭の方がやや硬質であったことが影響しているものと考えられる。

裏込注入量は、No.18杭の方が23%少なく抑えられた。これは、薬液注入の効果によって掘削切羽が安定し、崩壊量や余掘量が少なかった結果であると考えられる。また、No.18杭での崩壊発生箇所数がNo.15杭に対しほぼ半減していることから上述のことが裏付けられる。

湧水の発生箇所はNo.15杭の方が多く、No.18杭の薬液注入による止水効果が認められた。

試験施工中の周辺地盤では、各計測機器とも顕著な変動は認められず、今回の杭施工間隔（3D：Dは杭間）を確保すれば周辺地盤へ与える影響は小さいことが確認できた。

以上より、掘削時の薬液注入工の採用は深礎杭の施工能率を高める効果があることが確認できたと言える。しかし、補助工法として採用しなければ掘削が不可能という結果ではなく、採用することによって非常に大きな利点が得られるとは言い難いことも同時に判明した。したがって、深礎杭の施工は、基本的には補助工法を用いない一般的な掘削方法で施工するものとした。

2) 本施工

深礎杭の施工は、実際には多数の深礎杭を同時施工すること、掘削径の大きなものがあることから、周辺地盤の挙動把握が重要となる。その計測管理には膨大な時間と労力を要するため、自動計測を積極的に採用し、その効率化を計った。

表-1 試験深礎杭比較結果

| 深礎杭番号 | No.15 (薬注なし) | No.18 (薬注あり) |
|------------|-----------------|------------------------|
| 杭天端標高 | E.L.+279.20 | E.L.+271.60 |
| 杭長 | 32.5m | 27.5m |
| 掘削速度 (平均) | 0.445m/day | 0.500m/day |
| 裏込注入状況 | 注入ピッチ | 1.92m (平均) |
| | 注入量 | 1.352m ³ /m |
| 杭の偏芯 | 相対変位量 | 160mm |
| | 傾斜 | 1/203 |
| 湧水 | 発生箇所 | 76 |
| | 湧水量 | 0.9 ℓ /min |
| 崩壊箇所 (小崩壊) | 51ヶ所 | 27ヶ所 |

裏込は、当初、深礎杭コンクリート打設後、発砲モルタルを一度に注入する計画であったが、試験施工結果を踏まえ、孔壁の安定が乏しいため、切羽の状況によって、モルタル（セメント400kg / m³）注入を適宜実施した。

下段抑止杭φ3.0mの施工実績を表-2に示す。

表-2 深礎杭施工実績(φ3.0m)

| 深礎杭 | 平均値 | |
|--------|-------------|-------------------------|
| 杭長 | 28.5 m | |
| 掘削速度 | 0.530 m/day | |
| 裏込注入状況 | 注入ピッチ | 2.51 m |
| | 注入量 | 1.070 m ³ /m |
| 杭の偏芯 | 相対変位量 | 84 mm |
| | 傾斜 | 1/341 |

2 計測管理

2-1 計測計画

当工区の標準断面図を図-3に示す。計測管理は大きく分けて2つの目的で行なう。ひとつは、地すべり防止のための深礎杭施工中の斜面の安定

なお、地山に変状が生じた場合には、管理基準値に従い地すべりの地点、規模等を考慮しその抑止対策を実施するものとする。

2-3 施工中の計測項目

1) 計測機器配置

深礎杭の掘削が斜面の安定性に与える影響を評

表-3 計測試験対象と項目

| 計測の対象 | 目的 | 重点 | 計測項目 | 計測器名 |
|-----------------|----------------------------|--------------|---------|----------------|
| 斜面の安定性 | せん断面の発達と古い地すべりの再活動の確認 | 地すべり再活動 | 地すべり観測 | 孔内傾斜計 |
| | | 斜面の崩壊 | | 多段式傾斜計 |
| | 工事用道路の施工に伴う地山崩壊と地すべりの発達の把握 | 表層すべり | 伸縮計 | |
| | | 土圧の作用 | 定点観測 | |
| | | 地山の水位上昇 | 軸力計 | |
| 北神急行トンネルへの影響の評価 | 北神急行トンネル上方地山掘削による影響の把握と評価 | 地山の水平変位 | 土圧測定 | 土圧計 |
| | | 地山の鉛直変位 | 水位測定 | 水位トランスデューサー |
| | 近接施工による応力解放、荷重による影響の把握と評価 | トンネル覆工の変位、変形 | 覆工応力測定 | 孔内傾斜計 |
| | | | | スライディングマイクロメータ |
| | | 軌道の変位 | 軌道の変位測定 | 鉄筋計 |
| | | | | ひずみ計 |
| | | | クラック計 | |
| | | | 温度計 | |
| | | | 変位量測定 | |

性の把握であり、もう一方は、近接する既設鉄道構造物である北神急行トンネルの深礎杭施工時の影響の把握および評価である。その対象となる項目を表-3に示す。

2-2 管理基準値

管理基準値を表-4に示した。これらの値は、「地すべり危険地における動態観測施工に関する研究(その3)報告書(財)高速道路調査会編 P.178」に従って決定したものである。

表-4 管理基準値

| 計測器機 | 管理基準値の表記法 | 対応区分 | | | |
|--------------|-----------------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|
| | | 点検・要注意または観測強化 | 対応の検計 | 警戒・応急対策 | 嚴重警戒・一次待避 |
| 伸縮計 | 継続日数とその間の変位速度 | 5mm以上 /10日 | 5~50mm /10日 | 10~100mm /1日 | 100mm以上 /1日 |
| 挿入型 地中変位計 | 継続日数とその間の変位速度 /10日 | 1mm以上 /10日 | 5~50mm /10日 | | |

※トンネル構造物については地中変位計6.9mm以上で観測強化とする。

価するために、図-4に示す計測機器を配置し、観測する。観測機器としては、孔内傾斜計および伸縮計を採用し、深礎杭の背面に配置する。また、伸縮計はすべり土塊が大きい場合も考慮して最大4本設置する。1機の伸縮計の設置長さは20mを限度とし、複数設置する場合は2m程度ラップさせるものとする。

2) 観測間隔

掘削に伴う地盤の変形および変位を孔内傾斜計、伸縮計によって計測する。

計測期間は、深礎杭施工前から施工完了までの期間とし、計測間隔は表-5の通りとする。

ただし、変動量が顕著となった場合には、計測間隔を縮めて挙動の把握に努めるものとする。変動量が顕著とは、表-4に示す『点検・要注意または観測強化』以上の変動量が観測された場合である。

表-5 計測間隔

| 計測項目 | 計測頻度 | 備考 |
|-------------|------|----------|
| 水位計 | 自動計測 | |
| 孔内傾斜計 | 1回/週 | 隣接深礎杭施工時 |
| 〃 | 1回/月 | その他 |
| 地中変位計 | 1回/月 | |
| 伸縮計 | 自動計測 | |
| 北神トンネル計測 | 自動計測 | 鉄筋計、ひずみ計 |
| 北神トンネルクラック計 | 自動計測 | |

※自動計測は6時間ごとに測定する
6.9m以上で観測強化とする。

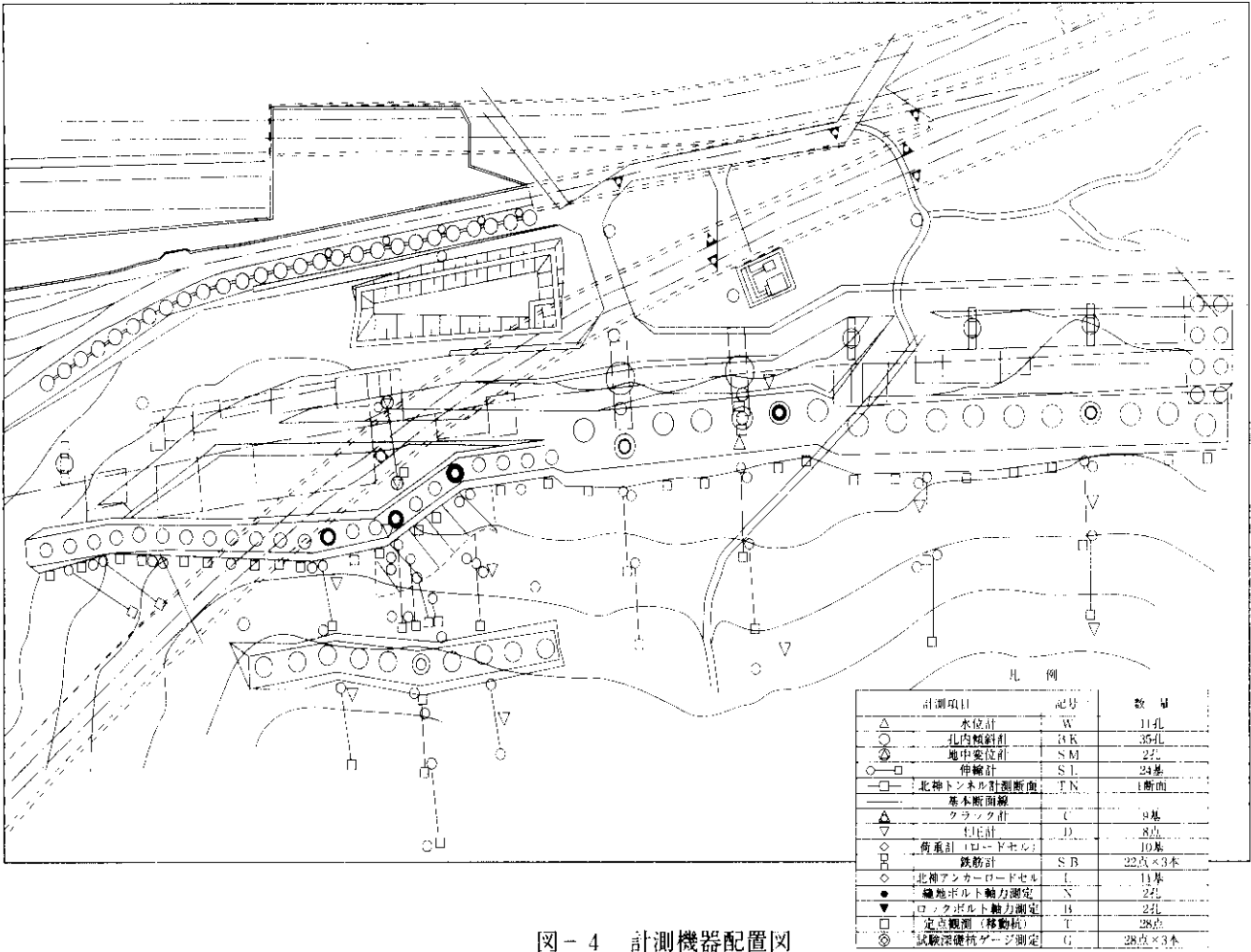


図-4 計測機器配置図

3 計測結果

3-1 計測結果

斜面の安定性に関する伸縮量および孔内傾斜の経時変化をそれぞれ図-5および図-6に示す。

No.18柱付近の工事用道路切土中（1993年2月下旬～3月上旬）に急激な変動が計測されたため、切土法肩に鉛直縫地ボルト（L=3.0m 1本/1m²）を、切土法面にコンクリート吹付（t=10cm）後、ロックボルト（L=3.0m～6.0m 1本/1.7m²）の施工を行うことにより表層すべりを防止し、切土の

施工を行った。深礎杭施工中（1993年3月以降）伸縮計、孔内傾斜計において谷側への土塊の変動ひずみの累積傾向が認められたが、施工には影響を及ぼさず、管理値内で施工が完了した。

北神急行トンネルへの影響に対して、図-7に鉄筋計、ひずみ計の経時変化図を示す。

調査ボーリング（1993年1月頃）の送水圧による影響で急激な圧縮変動が観察される。また気温の変化に伴い、応力の増減が認められる季節変動が示されている。

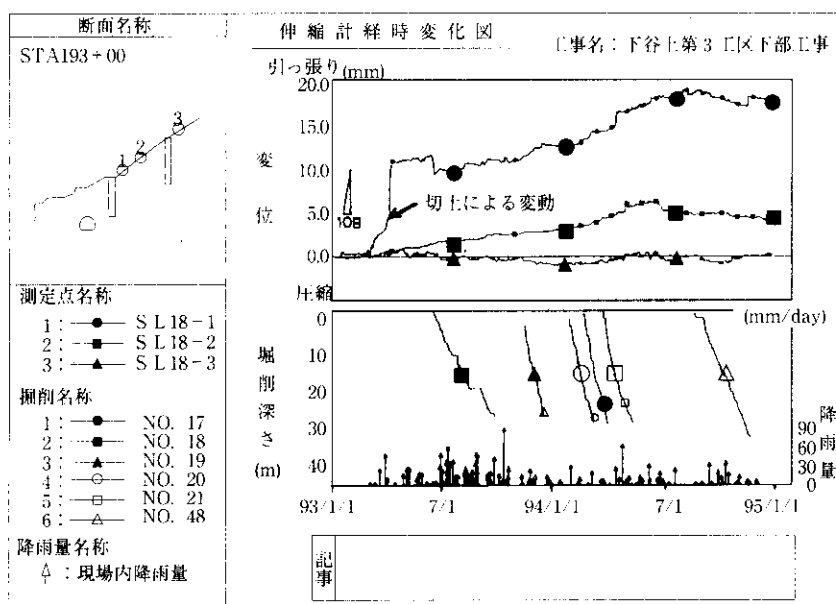


図-5 伸縮計経時変化図

STA. 193+00

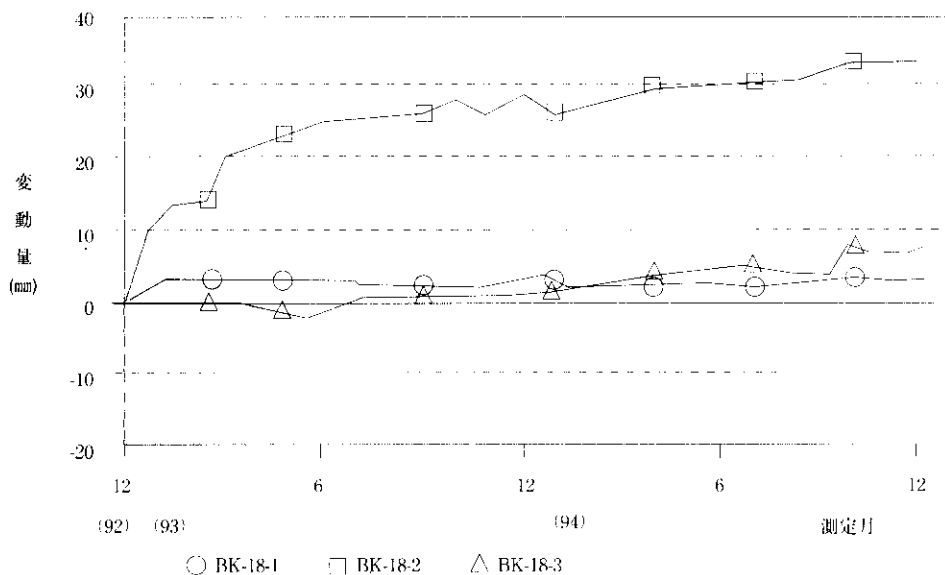


図-6 孔内傾斜の経時変化

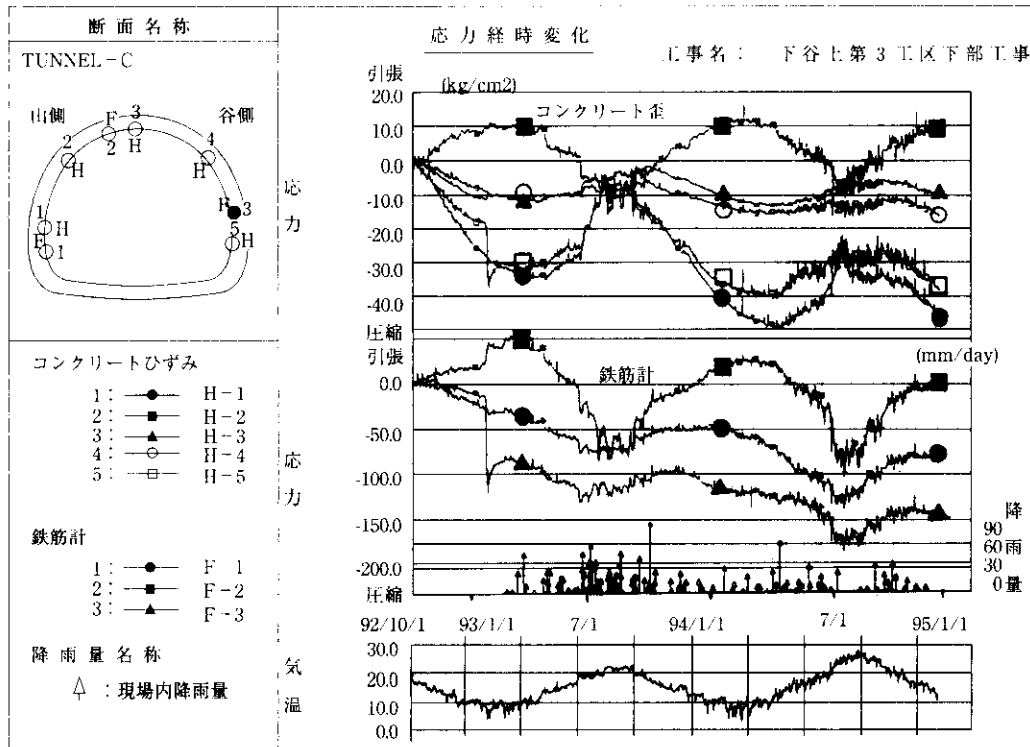


図-7 北神トンネル鉄筋計、ひずみ計経時変化図

一方、経日変化に着目するといずれの計器においても漸次圧縮応力の増加傾向が認められる。しかしながら、コンクリートならびに鉄筋の許容応力内での変化であり、トンネルに対しては大きな影響は与えていないものと考えられる。

3-2 兵庫県南部地震による影響

1) 全体状況

1995年1月17日5時46分兵庫県南部地方を中心にマグニチュード7.2の大規模な地震が発生した。それによる影響は、次のとおりであった。

損傷状況は、2段深礎上方の施工基面整形用深礎杭（ミニ深礎）の一部が谷側に1.5m傾き、施工基面が2m程度下がったことと、法面の小滑落が数カ所に見られる程度であり、地震の大きさを考えれば、比較的軽損傷で終わっている。これは深礎杭50本の内、44本が既に完了しており、これらがその役目を十分果たしたものと思われる。

なお、管理計測用機器に想定滑り面で動いた形跡を確認している。

2) 管理計測用機器による変状確認

(1) 伸縮計

計測範囲50mmの伸縮計を設置しているが、殆ど

の伸縮計が地震により損壊している。また、残った伸縮計の値もその瞬間の動きをとらえたものでないので、参考にはならない。

(2) 孔内傾斜計（地山）

変位の認められる傾斜計が20本有り、そのうち観測孔として使用できなくなったのが8本あった。これらの傾斜計は、平面位置のほぼ断層破碎帯内に位置している。

本データは地震前（12/23）、地震直後（1/23）であるが、地震後（3月上旬時点）については地震直後以上の変動は認められない。

(3) 孔内傾斜計（杭本体内部）

有意な変位は認められない。

(4) 鉄筋計（杭本体内部）

地震の影響を受けて深礎杭内の鉄筋に応力が生じている。概ね山側が引張り、谷側が圧縮を受けている。

その値は最大で引張応力約740kgf/cm²、圧縮応力約300kgf/cm²であり降伏には至っていない。これは抑止の効果を十分に発揮した結果と言えるが、引張応力は残留応力として残っているので、プレロード量等で対処しておく必要がある。

(5) スライディングマイクロメーター(鉛直変位)

2本の内1本は、18mmの変位を示している。もう一方は地震により損壊している。

(トンネルクラック調査では異常なし)

4 今後の施工に対する考察

抑止杭本体が完成すると施工は山田開削部の掘削に移る。山田開削部の掘削は、本工事の内、最も慎重な施工および計測管理が必要となる部分である。

当該部の掘削は、φ3.0m抑止杭前面からアースアンカーを段階的に施工しながらの掘削となる。

この時、特に注意すべき事項としては以下に示す3点が挙げられる。

- ①アースアンカーの反力(緊張力)管理
- ②斜面の挙動把握
- ③北神急行トンネルの浮き上がり

当該抑止杭は、地すべりブロックの安定確保と施工時の土留め壁を兼用する構造物である。したがって、この抑止杭を支持するアースアンカーの重要度は非常に高く、斜面の挙動はアースアンカーの健全性に大きく依存する。このことから、アースアンカーの反力管理は施工時の重要管理項目であると言える。

抑止杭の弾性変形およびアンカー引張材の伸び等、抑止杭が期待する抑止力を発揮するまでには

ある程度の地山変位は発生するものと予想される。

抑止杭上部の地すべりブロックが、山田開削部の掘削によって不安定化し、変状を起こす可能性も指摘できる。したがって、計測される地山変位が設計時の変位量と比較して妥当な値であるか判断しながら施工し、斜面の挙動把握に努める必要がある。

また、掘削による上部土塊撤去に伴い、北神急行トンネルに浮き上がりが6.9mm生じることが事前検討によって判明している。この浮き上がり量は軌道管理上では問題無いものと判断されているが、実際の施工に伴う浮き上がり量は、軌道保守上重要な管理項目となるため、軌道計測を含め計測管理に十分注意を払う必要がある。

今後は山田開削部の掘削に伴う斜面の変状および北神トンネルの浮き上がり等、当該ブロックに設置した種々の計測機器から得られる計測結果を総合的に判断し、的確にその挙動を把握しながら施工を進める計画である。

あとがき

本工事の施工にあたり御指導・御協力を頂いている阪神高速道路公団トンネル地盤技術委員会(委員長：櫻井春輔 神戸大学教授)、および関係者各位に深く感謝致します。