

## 地すべり土塊内での大規模山留め計測

日本道路公団 前野宏司  
 フジタ工業(株) 齊藤 誠 ○岡野幹雄

### 1. はじめに

近年、構造物や土工はその規模が大きくなり計画上的安全性のみならず経済性の追求が非常に重要になっている。一方、施工環境は年々厳しくなっている反面計画は限られた調査に基づき、工事にあたっては計画時の仮定と工事中に収集される情報を照合し、安全性の確認をすると共に、より適切な計画に変更するいわゆる情報化施工が必要となっている。

従来の工事中でも観測施工は行われてきたが、その目的が安全性の確認や設計資料の収集に止まる場合が多く、施工管理にあまり反映されなかった。一方、情報化施工は工事中に収集される情報を迅速に処理し、仮定条件と照合して、その後の計画管理に積極的に役立てることを目的としている。

今回、高速道路建設工事中における地すべり土塊内での大規模山留め工事を一例にして、情報化施工の果たした役割について述べる。

### 2. 地すべりおよび工事概要

#### 2-1 地すべりおよび対策工法決定の経緯

当初、本線道路部は延長800m、高さ40m(6段)の長大法面を有する切土構造で計画されていたが、3段法面掘削中降雨等の影響もあり、STA-269+00付近の法面はらみだしから徐々に崩壊が始まり、新潟側へ

漸次規模が拡大し、当地区のほぼ全域に至る地すべりに発展した。

二次災害防止のため、ただちに工事を中止すると共に、応急対策工として、押え盛土、切土後背地の水抜き、集水井の施工を行った。その結果2ヶ月後に地すべりは一応鎮静化を見た。

現地調査、観測の結果から当地すべりは層状すべりであることが判明し、その規模は巾約350m、奥行250m、深さ10~24m 土塊量約 120万 $m^3$ であることが分った。

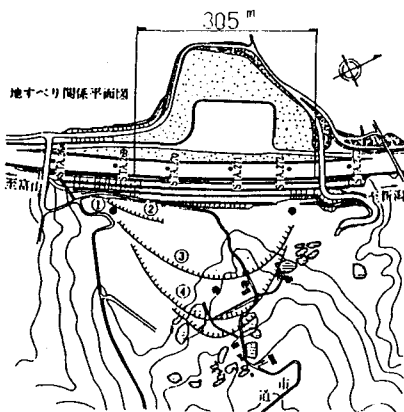
道路予定地におけるこのような大規模地すべりはあまり前例がないため、各種の対策工の比較検討を行った。

対策工の選定に当っては、

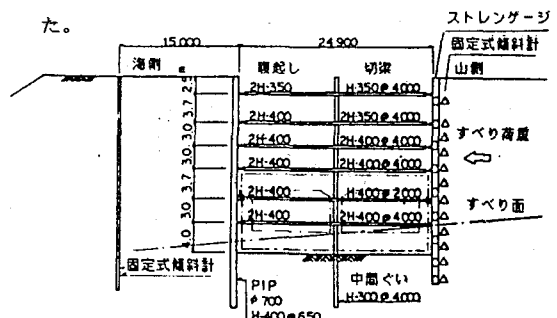
- ① 地すべりを促進させる恐れのない工法であること。
  - ② 工事中異常事態の前兆があれば、その対策が取りやすいこと。
  - ③ 工期が限定されているため、施工性のよいこと。
- に留意し、次の3案について比較を行った。

- ① オープン抑止杭案
- ② トンネル案
- ③ 開削トンネル案

この結果、地すべり土塊内での開削トンネルの例は少ないが、掘削工法としては一般的であり、山留め架構の計測によって地すべり荷重をとらえ、必要に応じて事前の対策がとれること。また、経済性・工期の面でも有利であることから、山留め杭と鋼製支保工を用いた開削トンネル工法が採用されるに至った。



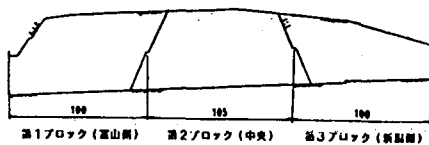
(図-1) 地すべり概要図



(図-2) 山留め計画図

## 2-2 施工順序

掘削は(図-3)に示すように、3ブロックに分割し両サイドのブロックを先行掘削して、掘削完了後中央ブロックの掘削を開始する方法を採用した。この理由は、全ブロックを一斉に掘削した場合、地すべりを再発させる恐れがあることや、両サイドの掘削実績を中央ブロックへフィードバックできることを考慮したからである。



(図-3) 掘削順序図

## 3. 計測概要

### 3-1 計測計画

広範囲な地すべり土塊内という特殊な環境のもとでの開削工法であるため、設計時の不確実な面を補うこと、および工事の安全性の確認を目的として、計測により山留め架構の動態と、地すべり土塊全体の動態を総合的に把握する必要がある。したがって次に示す一連の計測を行った。

### ① 山留め架構の動態観測

### ② 地すべり土塊の動態観測

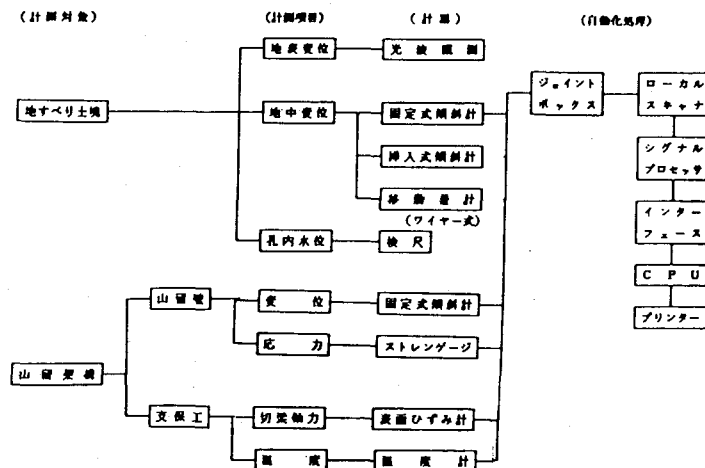
当工事は情報化施工を念頭に置いているため、計測は施工へ迅速にフィードバックさせる必要性からマイクロコンピュータ利用の自動計測とし、処理の迅速化、データ収集面での省力化を行った。計測項目及び計測システムの概要を(図-4)使用計器を(表-1)に示す。

### 3-2 管理基準値の設定

施工にあたり、収集データ値をどう評価し、またどう対策をとるか、明確にする必要がある。このため事前に管理基準値(表-2)を設定し、これをベースとして計測管理フロー図(図-5)を作成した。

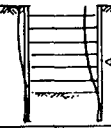
(表-1) 使用計器

| 項目   | 使用計器    | 型式     | 測定範囲   |
|------|---------|--------|--------|
| 壁体変位 | 固定式傾斜計  | 基動トランス | ±300分  |
| 壁体応力 | ストレングージ |        |        |
| 切梁軸力 | 表面ひずみ計  | ひずみゲージ | ±1000ノ |
| 地中変位 | 固定式傾斜計  | 基動トランス | ±300分  |



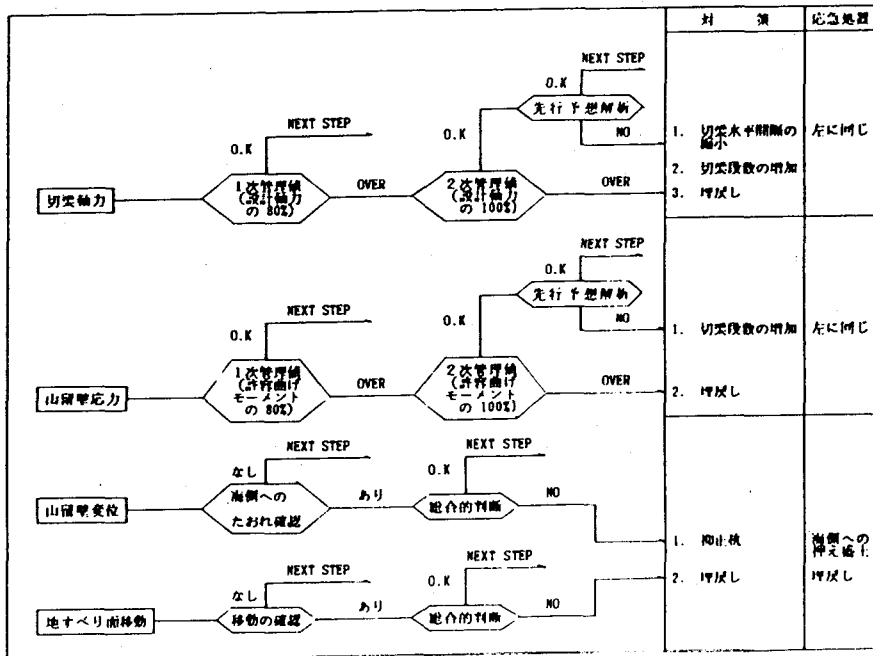
(図-4) 計測システム概要図

(表-2) 管理基準値

| 計測項目  | 比較の対象     | 使用部材                       | 設計値                                                                               | 管理基準値                                                             |                   | 備考                                                 |
|-------|-----------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------|
|       |           |                            |                                                                                   | 1次管理値                                                             | 2次管理値             |                                                    |
| 山留壁応力 | 許容曲げモーメント | H-400×400                  | 70 t/m/本                                                                          | 56 t/m/本<br>80 %                                                  | 70 t/m/本<br>100 % | 日鋼のみで応力負則<br>許容応力度 $\sigma = 2100 \text{ kg/cm}^2$ |
| 山留壁変位 | 設計時計算値    | PIP $\phi 700$<br>H-400 挿入 |  | 60 mm<br>STA.270+00<br>STA.270+80<br>40 mm<br>STA.271+80<br>100 % | —                 | 参考値                                                |
| 山留壁変位 | 海側壁体の変位   | PIP $\phi 700$<br>H-400 挿入 |  | 海側山留壁が<br>施工基礎より<br>海側に変位し<br>た時                                  | —                 | 参考値                                                |

切梁軸力管理基準値

| 計測項目 | 位置       | 使用部材 |              | 設計値    | 管理基準値 |                   | 備考               |
|------|----------|------|--------------|--------|-------|-------------------|------------------|
|      |          | 切梁   | 腰反し          |        | 1次管理値 | 2次管理値             |                  |
| 切梁軸力 | クレーンブロック | 第1段  | H-350 2H-350 | I -200 | 117.5 | 94 t/本<br>117 t/本 | 切梁耐力より決定         |
|      |          | 第2段  | H-350 2H-400 | I -200 | 108.2 | 86<br>108         |                  |
|      |          | 第3段  | H-400 2H-400 | I -200 | 148.0 | 118<br>148        |                  |
|      |          | 第4段  | H-400 2H-400 | H -200 | 207.0 | 192<br>240        | 取付けボルト耐力<br>にて決定 |
|      |          | 第5段  | H-400 2H-400 | H -200 | 243.2 | 194<br>243        |                  |
|      |          | 第6段  | H-400 2H-400 | H -200 | 240.0 | 192<br>240        |                  |



(図-5) 計測管理フロー図

管理基準値の設定にあたっては、計器より測定されるひずみ量等より直接物理量に変換して得られるもの（1次物理量）と、1次物理量に解析を加えて得られるもの（2次物理量）とに区別した。

管理基準値は1次物理量を基準とし、解析がある程度明確なものについては2次物理量までも採用して設定した。変位等については、構造モデルの設定に不明確な点も多々あるため、参考値として管理基準値の判断資料とした。

管理基準値は原則として設計値に基づいて設定し、設計値の80%を1次管理値、100%を2次管理値とした。施工進捗過程において、計測値が1次管理値を超過した場合には、先行予想解析、対策工の実施、検討を行うことを含めて（図-5）の計測管理フロー図に基づいて計測管理を行った。

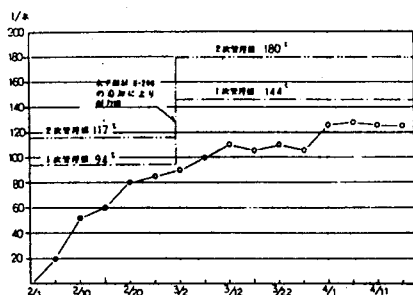
#### 4. 管理基準値超過による対策例

施工進捗過程において、計測値が管理基準値を超過した項目もあり、それについては対策を行った。

以下にその事例を述べる。

##### 4-1 第1段切梁の補強

（図-6）に掘削開始後の第1段切梁の軸力経日変化を示す。これによると、第1段切梁の軸力値は3次掘削中に1次管理値である94t.fに達することが予想された。この時点で対策の検討を行った結果、切梁の座屈長を短くすれば切梁耐力の増加が計れることになることから、水平継材にH-200を使用して切梁を補強することとした。



（図-6） 第1段切梁軸力経日変化図

これにより、以後の第1段切梁の管理基準値は、1次管理値144t.f、2次管理値180t.fに修正した。

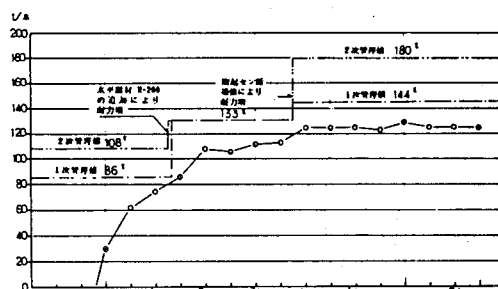
##### 4-2 第2段切梁の補強

（図-7）に第2段切梁の軸力経日変化を示す。第2段切梁軸力は第1段切梁と同様に、3次掘削時点で1次管理値である86t.fに達することが予想された。したがって、対策として、第1段切梁と同様に水平継材をH-200に変更して、切梁の補強対策を行った。

第2段支保工の場合、水平継材の補強により切梁耐力は180t.fに増加したが、腹起しせん断耐力が切梁軸力に換算して133t.fしかないため、管理基準値は133t.fとして管理することとした。

しかし、その後も切梁軸力は増加傾向にあり、管理値133t.fを超えることが予想されたため、次の対策として腹起しせん断耐力を増加させるためプレートで補強することにした。

以後、管理基準値は、1次管理値144t.f、2次管理値180t.fに設定して管理を行った。



（図-7） 第2段切梁軸力経日変化図

##### 4-3 中央ブロック切梁部材の変更

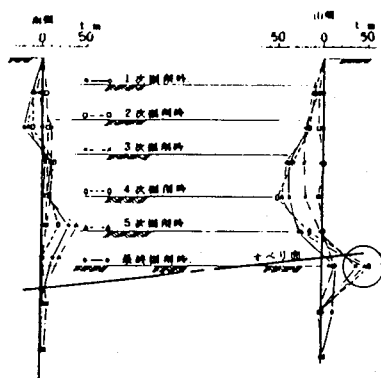
中央ブロック掘削にあたり、掘削の完了した1・3ブロックの計測結果から、第1段、第2段支保工には設計値以上の側圧が作用していることが分った。したがって、第1、第2段支保工の部材を当初設計のH-350 から H-400に変更した。

## 5. 予想解析による検討例

### 5-1 山留め壁曲げモーメントに関して

掘削の先行していた3ブロックで、4次掘削中、地すべり面付近（図-8）○印にて負の曲げモーメントが急増し、1次管理値近くになった。急増の要因は、その位置では山留め壁が当初から抑止杭の挙動により応力が発生していたところへ、4次掘削により発生した応力が重なり合った結果によるものである。

予想解析の結果、今後掘削が深くなるにつれて負の曲げモーメントは正側へ転じていく傾向となり、これ以上の増加はないものと予想された。したがって掘削は続行した。



（図-8） 山留め壁曲げモーメント

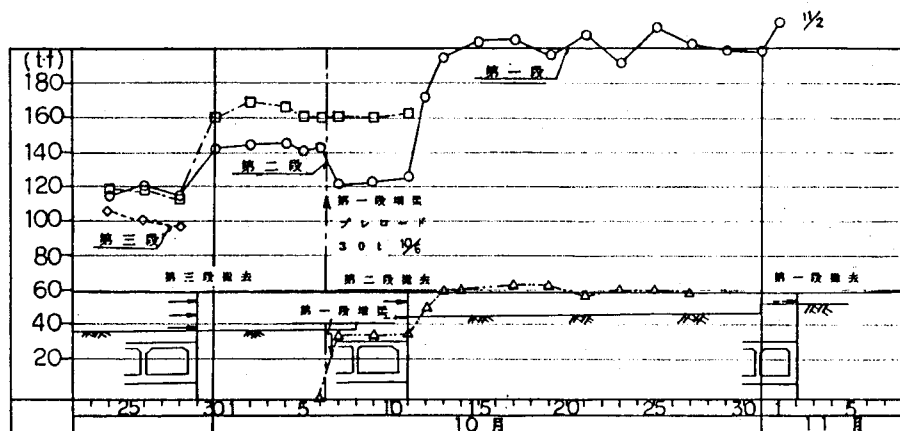
### 5-2 支保工解体時の第1段支保工に関して

支保工解体、埋戻しに際して、掘削時の計測データに基づき支保工解体時の山留め架構について予想解析を行った。

検討に際して、埋戻し材に想定していた現地発生土の土質試験を行った結果、土のパネ定数は $2 \sim 3 \text{ kgf/cm}^2$ 程度しか取れないことが判明し、この値を用いて予想解析を行うと、第1段切梁軸力と山留め壁曲げモーメント共に許容値を超えることが予想された。そこで、埋戻し材を良質な砂礫土に変更し、パネ定数を $5 \text{ kgf/cm}^2$ 以上として解析を行った結果、山留め壁の曲げモーメントは許容値内となる反面、切梁軸力は許容値を超えることとなった。したがって、対策は埋戻し材を砂礫土とし、第1段切梁には増し梁（H-400）を架設して補強を行うこととした。（図-9）に支保工解体時の計測結果を示す。支保工解体時の切梁の予想値と実測値を比較したものが（表-3）である。切梁軸力は予想値にほぼ近い挙動を示した。特に第2段支保工の解体時に第1段切梁軸力は、予想値 $233 \text{ t.f}$ に対して実測値は $268 \text{ t.f}$ にも達しており、増し梁による補強工は適切であった。

（表-3） 支保工解体時切梁軸力の予想値と実測値

|        | 第三段支保工  | 第二段支保工  | 第一段支保工  |
|--------|---------|---------|---------|
| 計測軸力   | 182 t.f | 180 t.f | 180 t.f |
| 第四段解体時 |         |         |         |
| 下壁値    | 108     | 128     | 130     |
| 上壁値    | 110     | 123     | 123     |
| 第三段解体時 |         |         |         |
| 下壁値    |         | 185     | 110     |
| 上壁値    |         | 159     | 140     |
| 第二段解体時 |         |         |         |
| 下壁値    |         |         | 233     |
| 上壁値    |         |         | 268     |



（図-9） 支保工解体時切梁軸力経日変化図

## 6. 現場計測の役割と問題点

以上述べたことが、地すべり土塊内での開削トンネル工事を例にし、計測結果および予想解析を現場施工へフィードバックした例である。

施工管理における現場計測の役割は、工事の安全性の確認および収集データの如何によっては適切な計画へ変更することにある。特に、工事の種類が未知な分野においては重要な役割を果たす。今回の例のように、計測結果とそれを基にした予想解析を施工管理に役立てるためには、種々の項目について、事前に検討を行っておく必要がある。それらを列挙し、考察をしてみると以下の如くである。

① 現場情報は定量的であり、客観的に判断し得るものであること、かつ、その管理基準値を定めること。

現場情報を施工管理に役立たせるためには、管理基準値を適切に定めておく必要がある。工事は工程に基づき綿密に計画されていることから、管理基準値超過の場合には工事中止にもなりうる。したがって管理基準値の設定にあたっては、工事の進捗に支障のないように、最低第1次値と第2次値とに分け、第1次値超過の段階で、第2次値超過を予想した検討が行えるように配慮する必要がある。すなわち、計測項目によっては、第1次値超過の時期と第2次値超過の時期が接近していることもあり得るため、対策工の検討が速やかに行えるように、現場情報は定量的、かつ、客観的に判断し得るものでなくてはならない。

② 現場情報は信頼できるもので、かつ、全体事象を代表していること。

現場情報の信頼性は、計測管理の重要なポイントになる。情報の信頼性は、計器の精度・耐久性・設置法に起因するが、各々の計器の精度・あわせて計測システム全体としての精度を認識しておく必要がある。また、現場情報はある限られた計測点のデータの集合であるため、その情報が現場の事象を代表しているかどうかの判断が必要となる。したがって、計測計画にあたっては経済性をも加味して、計器個数・配置には十分な配慮が払われなくてはならない。

③ 現場情報に基づき、計画変更の必要が生じた場合、短期間で変更可能なこと。

現場情報を現場施工へフィードバックさせるためには、発注者・設計者・施工者間の密な関係が必要である。どれか一つ関係がとぎれれば、計測結果の現場施工へのフィードバックは成功しないと言っても過言ではない。事前に綿密な協議を行い、計画変更の必要性が生じた場合には、短期間で変更可能な体制を整えておく必要がある。

④ 現場情報に基づき、将来予想が可能なこと。

現場情報に基づき、計画変更の必要が生じた場合、将来予想を行って計画変更をする必要が生じる。将来予想を行うためには、計測計画を行う時点で、予想するのに必要なデータを検討して、計測計画に含めておく必要がある。日常の計測項目になくても後日必要となるデータもある。特に初期値の設定時点が問題となるものについては、あらかじめ初期測定を行っておくことが必要である。

⑤ 現場情報を迅速に処理可能なこと。

計測結果を速やかに現場施工へフィードバックするには、膨大な計測データを迅速に処理することが条件になる。このためには、コンピュータを利用して、計測・処理を行うのが最良の方法である。周知のようにコンピュータの進歩は著しく、大型コンピュータしか出来なかったことが、現在ではマイクロコンピュータで出来るようになった。また価格も廉価になり、作業所単位で導入可能な現在、処理の迅速化・計測担当員のルーチンワークの省力化は十分可能になっている。しかし、ソフト開発面では労力を要するため、計画段階においてソフトについて十分な検討を行う必要がある。

## 7. おわりに

以上が、地すべり土塊内での山留め工事を例にして、現場計測を現場施工へフィードバックした事例および問題点を述べた。

今後、山留め工事の大型化、深層化により工事の困難性が増し、計測による情報化施工が行われる機会が増えると思われる。今回の例が参考になれば幸いである。