

【土木学会論文集 第394号/Ⅲ-9 (討議・回答) 1988年6月】

西村和夫 共著 “比較的短いロックボルトを用いた切り取り斜面の安定について” への討議・回答  
山本 稔

(土木学会論文集 第388号/Ⅲ-8 1987年12月掲載)

▶ 討議者 (Discussion)

川本 眺万・Ö. アイダン (名古屋大学)  
By KAWAMOTO, T. and AYDAN, Ö.

従来よりいろいろな問題点が指摘されているロックボルトの支保能力に関して、著者らは比較的短いロックボルトで切り取り斜面の安定性を確保することについて多くの実験を行い、それに基づいて簡便な安定解析法を提案されている。ロックボルトの支保機構や支保能力について興味をもち、それらに対する解析モデルを考えている者<sup>1)</sup>として、そのご努力に敬意を表するとともに、次の諸点についてご意見を伺えれば幸いです。

(1) 実験において、ボルトの定着力をアンカーヘッドで加減しておられますが、その間の関係をどのようにつけられているか。実際の現場ではロックボルトはおそらく挿入されるような形で設置されるものと思われるので、この関係が斜面の安定解析に重要なファクターになると考えますが、いかがなものでしょうか。

(2) 模型実験で土圧を計ることの難しさについては今まで多くの方が指摘してきたところであります。変形および土圧の実験結果を拝見しますとかなりのばらつきを感じます。モデルの作成、計測機構および実験手順などとの関連において、実験の再現性についてのご意見をお聞かせ下さい。

(3) 斜面の切り取りに伴ってボルトが地山と一体化して疑似擁壁を形成するかどうか斜面の安定性を左右すると論じ、ボルトの有効長なる概念が導入されている。ロックボルトの打設による地山の一体化はボルトのいく

つかの支保効果の1つであって、これは地山とボルトの強度や剛性<sup>2)</sup>、それらの間の接着条件などに関係するのはもちろんのこと、ボルトの長さだけでなく、ボルトの打設間隔、したがって、周辺の応力状態にかなり依存すると思われます。論文には有効長は引抜耐力に依存するとありますが、実際にはどのように決められるのでしょうか。また特にボルト間隔に触れられていないのはなぜでしょうか。

(4) 論文中的実験結果ではボルトの位置や応力状態(施工過程)によって有効長が変化しているように思われますが、計算モデルとして疑似擁壁の厚みを一定に取られた根拠をお教え下さい。

参 考 文 献

- 1) Aydan, Ö., Ichikawa, Y. and Kawamoto, T. : Reinforcement of Geotechnical Engineering Structures by Grouted Rockbolts, Proc. of the International Symposium on Engineering in Complex Rock Formations, 3-7, Nov., 1986, Beijing, pp.732~738.
- 2) Aydan, Ö., Kyoya, T., Ichikawa, Y. and Kawamoto, T. : Reinforcement Effects of Rockbolts and Their Analysis, 第22回土質工学研究発表会(新潟), 昭和62年2月, pp.923~926.

(1988. 1. 12・受付)

▶ 回答者 (Closure)

西村和夫 (都立大学)・山本 稔 (新潟大学)  
By Kazuo NISHIMURA and Minoru YAMAMOTO

著者らの論文を検討され、重要な諸点について貴重な討議を寄せて頂き、深く感謝いたします。

本論文では、比較的短いロックボルトを用いて切り取り斜面を安定化させる場合の地山とロックボルトの挙動を明らかにするため、小型室内模型実験を行い、その結果に基づいて簡便な解析法を示すことを目的にしていま

す。そのため、実験、解析いずれにおいても、この現象の支配的な条件となり得る因子を整理し、その中で最も重要であると思われるいくつかの因子に重点を置いて、単純化されたものではあるけれども、元の現象の主要なところを再現し得るモデルを作る必要があります。したがって、実験および解析において、どのような考え方に

基づいてモデル化するかが本論文の1つの要点となります。

討議者のご質問はいずれも基本的には実験および解析におけるモデル化の考え方にかかわってくる問題と考えます。そこで、この点を念頭に置いて討議事項に沿って回答いたします。

(1) 著者らは、ロックボルトに関する基礎的実験や鉄筋を挿入した切り取り斜面の安定に関する一連の実験を行っております。それらの結果、従来提案されているよりも短いロックボルトでも十分な引抜耐力、すなわち討議者のいう定着力をそのボルトに与えることができるならば、ロックボルトはその周辺地山を一体化し、地山が本来有している強度を十分に動員させ、斜面を安定化させるとの考えに基づき、実験を行っております。

しかし、ロックボルトのモデル化に際し、注入式のような、長さの割には定着力を期待できるロックボルトを模型実験でモデル化するには困難が伴います。そこで全ねじを切った丸鋼にアンカーヘッドを付けて引抜耐力を加減しています。

ここで注意しなければならないことは、全面接着式のロックボルトはボルト周囲の摩擦作用で支持されますが、アンカーヘッドは支圧作用で支持するため、これによって、ボルトの引き抜きに対する支持機構が変化することです。この違いは、特に引抜耐力がやや小さいときの実験条件、すなわち、全ねじ丸鋼のみの場合よりは引抜耐力があるがまだ完全に疑似擁壁を形成しきれずに、斜面の安定は個々のロックボルトの引抜耐力の大小で決定されると考えられるとき、斜面の安定に影響を及ぼすことが考えられます。

この点については、落し戸および斜面の、鉛の散弾を地山材料にした光弾性実験<sup>22), 23)</sup>によるボルトモデルの軸力分布結果から、本実験で用いた1.5, 3.0 cm程度のアンカーヘッドの大きさの場合、ボルトの軸力分布は図14, 15(後出)に示すように支圧作用よりも摩擦作用による影響が大きい凸形の軸力分布となることが確認されており、このモデル化が全面接着式ロックボルトの挙動を十分表わしていると判断しています。

さらに、ロックボルトに十分な引抜耐力があつて地山を一体化し、ボルトまわりの地山をブロックとして挙動させることができると、斜面の安定は地山ブロックで構成される疑似擁壁のせん断強度で決定されます。すなわち、重要となる因子は、この場合、ボルトの引抜耐力ではなく、背面土圧に対する一体化された地山ブロック間のせん断抵抗の大小となります。そして、一体化された地山ブロックの中に包含されるボルトが支圧作用で支持されているか、摩擦作用で支持されているかは一体化された地山ブロックの内部の問題となり、斜面の安定の要因

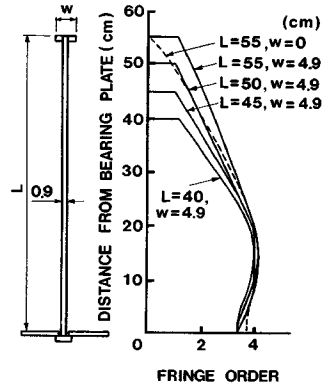


図14 落し戸の弾性実験によるボルトの軸力分布<sup>22)</sup>  
(Fring Oder ∝ ボルトの軸力)

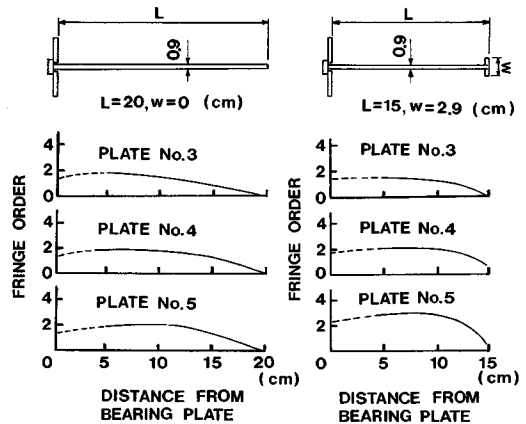


図15 斜面の光弾性実験によるボルトの軸力分布<sup>23)</sup>注)  
(Fring Oder ∝ ボルトの軸力)

とはならないと考えられます。したがって、ロックボルトとして大きなアンカーヘッドを付けたモデルを採用し、強制的に地山を一体化するモデル化が許容されると判断しています。

引抜耐力(定着力)は斜面安定の重要な因子であり、その点から討議者は実験におけるアンカーヘッドとロックボルトの定着力との関係について質問されていると思いますが、上記において説明しましたように、ボルトの引抜耐力に求められる条件は地山を一体化することであり、その結果は本論文3.(3) a)に記述してあるように最低主働土圧に相当する引抜耐力が必要ですが、外的な土圧増加がなければ静止土圧以上に相当する引抜耐力を与えてもその能力を発揮しないこととなります。したがって、実際の現場でも上記の条件を満たす程度の定着を考慮すればよいことになり、ご指摘のように、ボルトの定着力とアンカーヘッドの関係について逐次検討する必要はないと考えています。

注) アンカーヘッド付きの結果は未発表

(2) 討議者が指摘しておられる変位と土圧のばらつきは実験条件の違いによる実際の現象の差であり、本来のばらつきとは異なるものです。そこで、討議者の記述にしたがって計測機構を含めてモデル作成にあたっての留意点や、実験手順の中でのばらつきと再現性のチェックについて順を追って説明します。

討議者のご指摘のように、土圧測定の違いは周知のことです。本実験では、土圧測定に土圧計が及ぼす多くの影響<sup>2)</sup>と、今までの一連の実験から、壁面に作用する土圧を壁面全体の荷重として測定することとし、以下に示すことについて配慮してモデルを作成しています。

本論文の図-1に示してあるように、中央1列の表面保護工モデルを凹凸2枚のプレートからなる入れ子構造として全面を剛性のある受圧板とし、局所的な土圧のばらつきやアーチングなどによる影響を避け、土圧の積分値としての荷重を測定することによって精度の向上を図っています。そして、本論文、3. (1) d) の iv), v) において、順次埋設していくごとに表面保護工に作用する土圧の値や増加率を測定して実験のばらつきをチェックするルーチンを組み込んであります。

埋設過程または埋設完了時点の静止土圧はボルトの長短や引抜耐力の大小などの実験条件とは無関係なはずですから、上記測定結果のばらつきを全実験ケースについて検討することで測定手法の適否が判断できます。そして、図-3に実験結果の平均と95%信頼区間で示してあるようにきわめてばらつきの少ない結果が得られています。さらに、各実験ケースごとの再現性を確認するため、原則として実験は各ケース2回ずつ行っており、一部にその結果を確認できるような形で図示しています。

変位については図-6（もしくは図-7）にTN-26を除いて同一条件の実験を2例ずつ表示しています。トンネルや落し戸における特性曲線（Fenner-Pacher 曲線）と同じように、斜面でも変形が大きくなるとわずかな土圧変化に対して生じる変位変化は大きく、変位の測定結果には多少の幅がでできますが、ばらつきや再現性は比較的良好であると判断できます。

切り取り後の土圧についても図-10 (a) に1例のみ同一条件の結果を載せていますが、他の事例も同様の傾向であり、変位に比べると多少ばらつきが認められますが、この種の模型実験として特に問題になるほどではないと考えています。

したがって、討議者が指摘しておられる変位と土圧のばらつき、おそらく図-4と図-8、9のことと思われるが、本文3. (2), (3) に記述しているように著者らは実験条件の違いによる本質的な挙動の差と考えております。

(3) 本項の内容は一部討議項目(1)と重複する部

分がありますが、本項の討議内容に沿って改めて簡単に回答いたします。

ロックボルトの打設による地山の一体化がボルトのもついくつかの支保効果の1つであり、特に連続体としての挙動が問題となる地山（軟岩や土砂地山）での効果であると考えていますが、一体化された地山ブロックの支保効果を内圧効果とみることもできますし、地山物性の改善とみることができることも否定できません。しかし、これらに係る主たる要因については討議者と若干の相違があります。

すでに(1)で述べたように、切り取り斜面の安定を支配する主たる要因は大別して2つあります。1つは、ロックボルトまわりの地山が一体化されたときの地山ブロック間のせん断抵抗、もう1つは、一体化しきれない場合に斜面の安定を支配するロックボルトの引抜耐力です。討議者が指摘しておられるボルトの強度や剛性、地山とボルトの接着条件は、前者の場合、地山ブロック内部の問題として内在されていますが斜面安定の主たる要因とはならず、後者の場合にのみ主要因となります。

この工法では前者の状態を目的としていますから、ボルトの強度や剛性、接着条件は、一体化がなされて地山ブロックが疑似擁壁を形成するための条件とはなっても、斜面の安定を支配する主要因ではないと考えます。

本文中の、有効長、すなわち、一体化された地山ブロックの底辺の長さが引抜耐力に依存することはこれまでの討議での回答でご理解頂けるものと思います。では、実際の有効長の決め方ですが、ボルトの有効長は地山条件や施工状況などによって左右され、本論文でも述べていますが、本研究からだけでは決定付けることは困難です。しかし、有効長を見積る方法は本論文4. (2)において述べているとおりで、実用上、施工が一体化の条件を満たしているならば、本論文の方法で見積って差し支えないものと考えます。

ボルト間隔について記述していないのは、本実験ではボルト間隔をパラメーターに採用していないことによります。しかし、斜面の一段の切り取り高さはボルトの縦間隔、地山の自立高さや作業性などから決定されますから、各切り取り段階ごとに解析することで間接的にボルト間隔は安定計算に入ってきます。また、(1)で述べたように、ボルト1本当たりの分担面積に作用する土圧（最低で主働土圧、外的な土圧増加がなければ大きくても静止土圧まで）に見合うボルトの定着が確保できるか否かの関係からボルトの間隔が決定できます。

(4) 討議者のご指摘のように、安定に必要な有効長は施工過程で異なり、各段ごとに得られる有効長は下段にゆくほど長くなる階段状になっています。しかし、切り取りに伴う安定を吟味する場合、すなわち、切り取

られた後の斜面の条件の変化に対する安定を考えるのではない場合、しかも、一定長さのボルトを一定間隔で打設し、土圧が単調に増加すると考えられるならば、斜面は切り取りの最下段が常に最も危険な状態となり、その最下部が全体の安定を支配することになります。

地山が均質でなく、層状地盤や、弱層が存在する場合、土圧が単調に増加する保証はありませんから、そのときは本論文にもあるように、各段切り取りごとに1段目から当該切り取り段位までの解析をする必要があります。すなわち、6段まで切り取った状況を考えますと、図11の7段の地山ブロックの計算モデルが、地山ブロック1段のものから6段のものについて解析することになります。この場合でも常に最下部について解析しますか

ら図11のような計算モデルでもよいことになります。その結果は討議者が述べておられるように各段位ごとに異なった有効長となります。

#### 参 考 文 献

- 22) 山本・山崎：落し戸の光弾性実験による緩み土圧と緩み領域の測定，日本光弾性学会第4回研究発表講演会講演論文集，No.4，pp.93～96，1982.
- 23) 山本・山崎：光弾性材料を用いた斜面の安定実験，日本光弾性学会第4回研究発表講演会講演論文集，No.4，pp.97～100，1982.
- 24) 針生幸治：土圧測定における誤差と補正法，土と基礎，Vol.32-6，pp.41-48，1984.

(1988. 5. 23・受付)

# 国際契約約款の基礎

## Engineering Law and the ICE Contracts

本書は、海外活動委員会ICE契約研究小委員会が6年間にわたり検討して来たもので、国際契約約款の基本システムである発注者—エンジニア—請負者という三者の責任と義務について、多くの判例による法的裏付けをしながら逐条・逐語で徹底的に解説したものであります。

本書は、利用者の便宜を考え二分冊とし、ケース入りとしました。

第I部は、ICE約款の逐条・逐語の対訳で、付録として「公共工事標準請負契約約款」、「民間建設工事標準請負契約約款」、「四会連合協定・工事請負契約約款」を付け、ICE契約約款との比較ができるよう配慮してあります。

第II部は、原文解説の逐条・逐語訳であり、多くの判例を用いて、分かりやすく解説したものです。

本書を座右の書として活用することによって、建設工事の国際化に大いに役立つものと考え、多くの方々にご利用下さるようおすすめ致します。

本書は、現在予約受付をしておりますので、ご希望の方は土木学会へ前金でお申込み下さい。刊行次第送本致します。

体 裁：A5判 900ページ  
会員特価：27,000円（〒400円）

定 価：30,000円（〒400円）  
申 込 先：土木学会刊行物販売係

### 新刊案内

## 土木学会誌・論文(報告)集総索引—1976—1985—

B5判 547ページ/上製

定価 15 000 円 会員特価 13 000 円（送料 400 円）

本書は、1976年から1985年までの10年間に土木学会誌・論文（報告）集に登載された7 689件の文献を26項目に分類し集録した。著者名索引付。

復刻版

## 土木学会誌・論文報告集総索引—1915—1975—

B5判 491ページ/上製

定価 10 000 円、会員特価 9 000 円（送料 400 円）

本書は、1915年から1975年までの60年間に土木学会誌・論文報告集に登載された7 500件の文献を集録したものの復刻版である。

## 同上総索引 1915—1975, 1976—1985 2冊合本ケース入りセット

セット 特別価格 23 000 円（〒共） 会員価格 20 000 円（〒共）

●お申込みは土木学会または全国主要書店へ●

Mr. SOILがさらに機能を充実

## 地盤の非線形解析ソフト

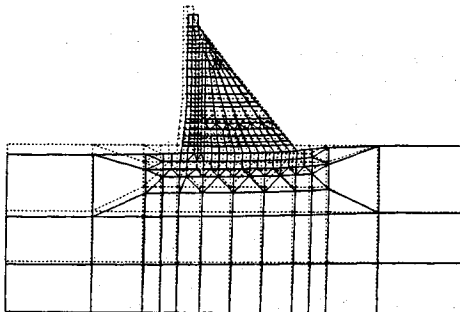
# Mr. SOIL Version-2

### 《機能》

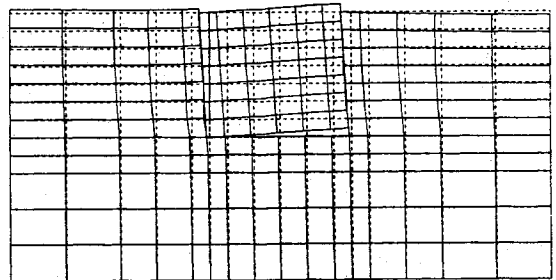
- 弾性及び弾塑性解析が可能。
- 掘削機能、盛土機能がある。
- 地盤の不連続性や、構造物との相互作用が扱える。
- 各種要素の準備(三角形要素、四角形要素、棒要素、梁要素、JOINT要素)
- 大型モデルはそのままCRCネットワークで、メインフレーム処理が可能。
- 地震荷重、分布荷重が扱える。\*
- 荷重の段階的載荷が可能。\*
- 弾性解での安全率(モール・クーロン基準)評価。\*
- 充実したグラフィック機能(変形図・応力ベクトル図・応力コンター図・拡大機能など)。\*

\* 印はVersion-2による追加機能

販売価格：64万円      機種：NEC PC-9801シリーズ、IBM5550



静水圧によるダムの解析



不連続性を考慮した地盤と構造物の解析

**CRC** センチュリリサーチセンター 株式会社

大阪市東区北久太郎町4-68  
(06-241-4121)担当：浜口・中川

圧密解析ソフトパソコンに上陸!!

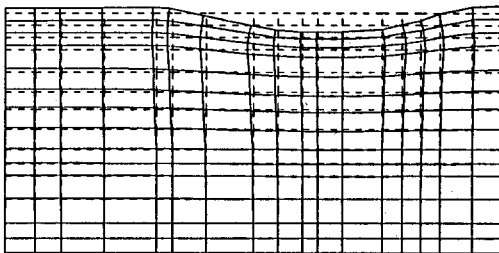
## 地盤の非定常圧密解析プログラム

# Mr. 圧密

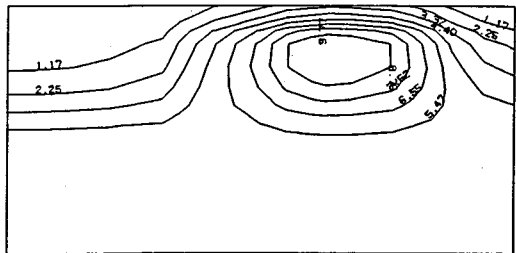
(特長)

- 非定常FEMによる線形弾性解析(christian系の解法)。
- 二次元平面歪解析。
- 要素として三角形・任意四角形が扱える。
- スケールングをしているので安定して解が求まる。
- リスタート機能の完備。
- 入力はわかりやすいコマンド形式を採用(フリーフォーマット)。
- 図化処理(プロッタ、画像出力)等、豊富な機能を持つポストプログラムを完備。
- ジェネレート機能(長方形要素)により簡単にモデル作成が可能。
- 大モデルはそのままCRCネットワークでも(ホスト処理)可能。

販売価格：60万円 機種：NEC PC9800シリーズ 他



変形図



過剰間隙水圧コンター図

※EWS、汎用機用の圧密解析プログラム(逆解析も可能)として"UNICON"も用意しております。

**CRC** センチュリリサーチセンター 株式会社

大阪市東区北久太郎町4-68  
(06-241-4121)担当:浜口・榊原

# 土と水の連成逆解析プログラム (UNICOUP)

ついにペールを脱いだ!

# UNICOUP 新発売

CRC

今こそ、頼りがいのあるソフトを!

## 特長

- ① 応力と地下水の流れをカップルさせた問題が解析可能です (圧密含む)
- ② 地下水の流れは飽和・不飽和域を対象としています。
- ③ 多段掘削・盛土や降雨等が扱えます。
- ④ 梁や連結要素も扱え実用的です。

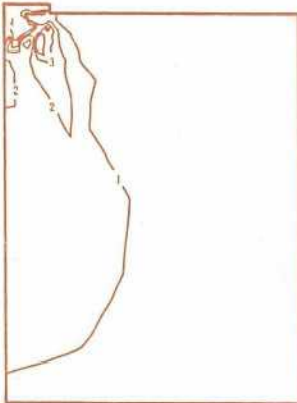
⑤ 経時観測記録(変位・水位)があれば、非線形最小二乗法に基づき変形係数や透水係数が逆解析できます。(順解析、逆解析がスイッチにて選択可能です。)

⑥ 弾性・非線形弾性・弾塑性・粘弾塑性を示す地盤が扱えます。  
(関口・太田モデル・カムクレイモデル使用可)

## 対応機種

FACOM-Mシリーズ, HITAC-Mシリーズ  
IBM303X,308X,43XX, CRAY  
NEC ACOSシリーズ, DEC VAX11  
シグマワークステーション  
(その他別途相談に応じます。)

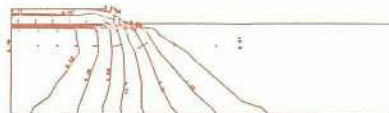
↓ (荷重)



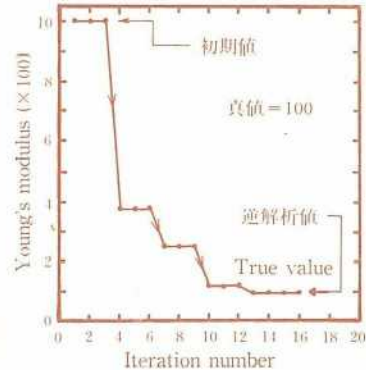
応力増分コンター(Δσ<sub>v</sub>)  
(10日後)



盛土(40日)後の地盤の変形



盛土(40日)後の地下水の流れと水頭  
コンターおよび自由水面



ヤング率と繰り返し回数との関係

逆解析によるパラメータの推定

CRC センチュリリサーチセンタ 株式会社

IPA 情報処理振興事業協会

このシステムは、情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したものです。

問合せ先

大阪市東区北久太郎町4-68

(06-241-4121)担当: 岩崎、今井

昭和三十七年五月二十八日 第三種郵便物認可  
昭和六十三年六月十五日 印刷(毎月一回)  
発行(二十日発行)  
土木学会論文集

○ 土 木 学 会 論 文 集 ○

定 価 一 五 〇 〇 円