

# 斜面对策の新工法

## ー排水補強パイプ・鋼管膨張型ロックボルトー

The innovative method for slope stabilization  
-Slope-reinforcible drainage pipe and Water-expanded steel bolts-

太田英将\* (有限会社太田ジオリサーチ)

柏熊誠治 (千代田器材株式会社)、橘高敏晴 (日新鋼管株式会社)

Hidemasa OHTA (Ohta Geo Research Co.,Ltd.)

Seiji KASHIKUMA (Chiyoda Kizai Co.,Ltd.),Toshiharu KITAKA(Nisshin Kokan Co., Ltd.)

キーワード：斜面安定，地震，地下水排除，補強土工法，低コスト

Keywords: slope stability, earthquake, drainage, reinforced earth, low cost

### 1. はじめに

近い将来東海・東南海・南海地震などの巨大地震が発生すると予測されている。その際、緊急輸送道路を確保できるかどうかということが、その後の復旧に大きな影響を与えるため、その対策が喫緊の課題となっている。

1968年十勝沖地震、1993年釧路沖地震、1993年北海道南西沖地震、2003年十勝沖地震などで道路や鉄道の盛土地盤を中心に多数の崩壊が発生した。緊急輸送道路の確保という観点では、崩積土を除去すれば通行可能になる切土法面からの落石・崩壊よりも、むしろ規模の大きな盛土の崩壊の方が深刻である。このような盛土の崩壊に関する研究には、日本鉄道施設協会(1972)<sup>1)</sup>や国土交通省土木研究所ほか(2001)<sup>2)</sup>などがある。

盛土法面の地震時安定化対策工は、「予防工」であるため、危険性が存在する箇所すべてにおいて施工する必要があるが、従来用いている対策工法では、その費用は膨大となる。このため対策工の低コスト化が重要な課題である。

また、2001年4月に施行された「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」では、行政が基礎調査を行い警戒区域およ

び特別警戒区域を住民に周知させることとなった。また、特別警戒区域では開発行為の許可制となり十分な安全性のための措置が講じられていないと開発できない。

しかし、急傾斜地崩壊防止対策事業などの公共事業において用いられてきた高規格な工法は高価であり個人の負担でできるようなものではない。特別警戒区域と指定された場合には、所有者自らが何らかの安全対策を行うか、または転居せざるを得なくなる。

個人が負担できる程度に安価で、かつ許容できる効果のある工法というものは現状では存在していないと言っても過言ではない。しかし、土砂災害防止法の基礎調査が終わり、住民にその結果が知らされるようになれば、否が応でもそのような対策工が必要となるものと考えられる。

本報告では、このような要求を満たすことができる工法（排水補強パイプ、および鋼管膨張型ロックボルト工）について紹介する。

### 2. 排水補強パイプ

φ60.5mmの鋼管にストレーナー加工したパイプを盛土に圧入・打設し、地盤補強効果と地下水

排除効果を期待する工法は、東海道新幹線の盛土対策工として施工され、すでに20年以上、100万本以上の実績がある。図1に排水補強パイプの構造図を示す。これらは黒皮の鋼管を使用している。

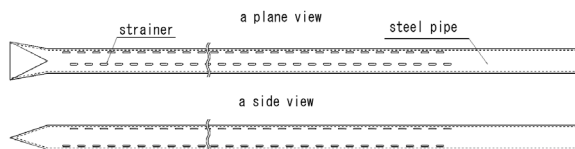


図1.排水補強パイプ構造

鉄道のように、常に施設を保守点検する事業の場合には、黒皮の鋼管を使用しているも日常管理においてチェックすることによりメンテナンスが可能である。しかし、道路盛土などにおいては、施工後に十分なメンテナンス費用をかけるというシステムになっていないため、防錆を含めてメンテナンスフリーとなる工夫が必要となる。

このため、今回従来の黒皮の排水補強パイプに、日新製鋼(株)が開発したZAMメッキ(マグネシウムを含んだ高耐食性亜鉛メッキ)を施し、長寿命化(恒久化)を実現した。

排水補強パイプの効果としては、鋼管を打設することによる地盤の締め固め効果、地盤を拘束することによる正のダイレタンシー抑制効果<sup>3)</sup>がある。しかしながら、現在の補強土工法の設計手法は、JH基準<sup>4)</sup>による補強材の周面摩擦による引張効果が用いられているため、実験によりその効果(摩擦力度)を検証した。

## 2.1.排水補強パイプの引抜試験

引抜試験は自然地盤における現場試験と、人工的に強度の異なった地盤を製作して行った室内試験の2種の試験を実施した。対象は砂質土で行った。人工地盤は、1m<sup>3</sup>の砂に、0kg、10kg、20kg、30kg、40kgのセメントを混合した材料を、直径1m、高さ1.2mの円筒状の容器に詰めて作成した。

パイプと地盤との摩擦力については、打込み杭の摩擦力がひとつの目安になる。道路橋示方書によれば、打込み杭工法の場合の最大周面摩擦力度は2N(kN/m<sup>2</sup>)とされている。

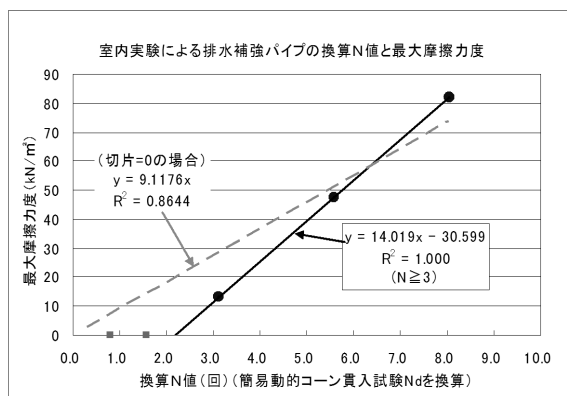
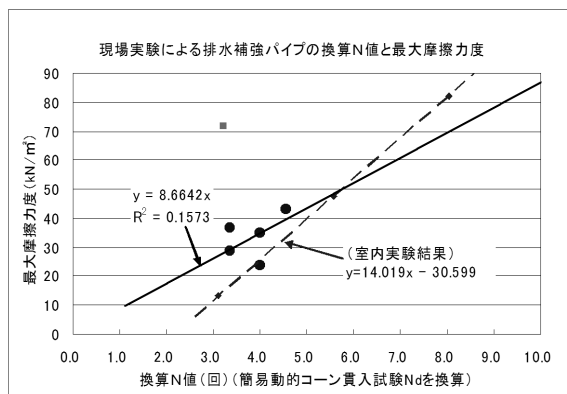


図2.排水補強パイプの引抜試験結果

図2に引抜試験の結果を示す。上の図は、現場における試験結果であるが、地盤強度が各試験ともほぼ同等であるため、原点を通る直線で近似し最大周面摩擦力度を8.7Nと報告した(太田(2002)<sup>5)</sup>)。しかし、その後実施した室内試験では、N値2回相当以下では圧入しても空隙が大きいため地盤が容易に変形してしまい、摩擦力がほとんど発生しない領域が存在した。室内試験と現場試験の結果を総合的に解釈すると、最大周面摩擦力は、14N - 31(kN/m<sup>2</sup>; ただしN ≥ 3)となり、打込み杭の摩擦力度(2N)よりも大幅に大きな摩擦力が確保できることが判明した。

## 2.2.排水補強パイプの適用対象

盛土地盤のN値は、経験上3～8程度であることが多い。排水補強パイプは打設のみによってN値20相当程度までは十分施工できるため、ほとんどの盛土地盤の対策工として適用できる。地盤がそれよりも硬質の場合でも、小口径で穿孔した孔に沿って打設することにより強風化岩までの打設が可能である。

また、地震時の盛土の崩壊事例<sup>12)</sup>から、盛土の崩壊原因は飽和地下水が存在する箇所での液状化が最大要因とされている。旧国鉄技術研究所では、震動台実験を行い、排水補強パイプが地震対策において効果が高いと報告している(1)および池田俊雄(1999)<sup>6)</sup>。

本工法は、鋼管を地盤中に打撃・圧入するだけであるため、非常に低コストな工法である。巨大地震に対する緊急輸送道路の盛土安定化対策としても十分利用できるものと考えられる。

## 3. 鋼管膨張型ロックボルト

鋼管膨張型ロックボルトは、欧米では一般的に使われてきた工法である。日本では、トンネル施工時のロックボルトとして、主に湧水が多くグラウト注入の困難な箇所において少量使われていたに留まっている。日本であまり使われていなかった原因は腐食に対する問題と考えられる。

今回、この鋼管膨張型ロックボルトに対しても、高耐食性メッキZAMを用いて、長寿命化(恒久化)を実現させたため、いわゆる永久構造物として利用可能となった。

鋼管膨張型ロックボルトは、折り畳んだ鋼管製のチューブの状態(φ36.0mm)で穿孔(φ42mm)内に挿入後、高圧水で拡張(最大φ54.0mm)することでボルトの周囲の地盤に密着させる工法である。図3.に補強原理を模式的に示す。

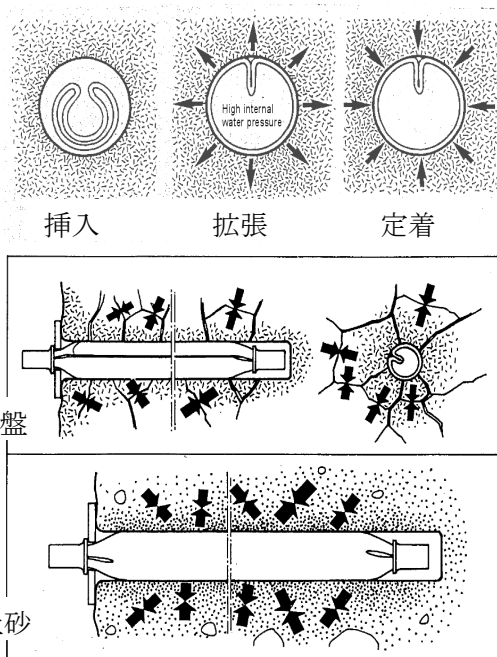


図3.鋼管膨張型ロックボルト工の原理 (S.D.McKinnon(1990)<sup>7)</sup>より引用)

岩盤の補強に用いる場合には、インターロッキングの増強効果が主で、土砂の補強に用いる場合には、外周部の締め固め・強度増加の効果がある。この工法は、グラウトを使用しないため、削孔→挿入→拡張の非常に短い工程でロックボルト工を完成させることができる。また低コスト工法でもある。

### 3.1.鋼管膨張型ロックボルトの引抜試験

鋼管膨張型ロックボルトが、岩盤に対しては非常に強い摩擦力を持つことが知られている。しかし、土砂に対しては摩擦力という観点から効果が小さいものと想定された。日本の現状での設計手法は、引張摩擦力を重要視しているため、摩擦力を確認しておく必要があり、室内実験にて引抜試験を実施した。鋼管膨張型ロックボルトの注入スリーブの引張耐力(12t)を越えてしまうと摩擦力の測定が不能となるため、特別に80cmの有効長をもつボルトを製作し引抜試験を実施した。なお、人工地盤は、砂1m<sup>3</sup>に対し、セメントを50kg、75kg、100kg、150kg

の割合で混合したものと、砂を締め固めただけのもの5種類の地盤を用いた。セメント混合土は、テストピースを採取し、一軸圧縮試験を行った。

50kg/m<sup>3</sup>の混合土では、同時に簡易動的コーン貫入試験を実施し、換算N値37を得た。

一軸圧縮強度(セメント非混合土は簡易動的コーン貫入試験値から換算)と最大摩擦力度(延長1m相当に換算)の関係を図4に示す。最大摩擦力度は、1m当たり0.05qu+30(kN; qu≧1000)となった。この結果から、qu=1,000kN/m<sup>2</sup>(10kgf/cm<sup>2</sup>)程度の地盤(強風化岩~土丹)であれば1~1.5mの定着部があれば、10トンを越える摩擦力が得られる。

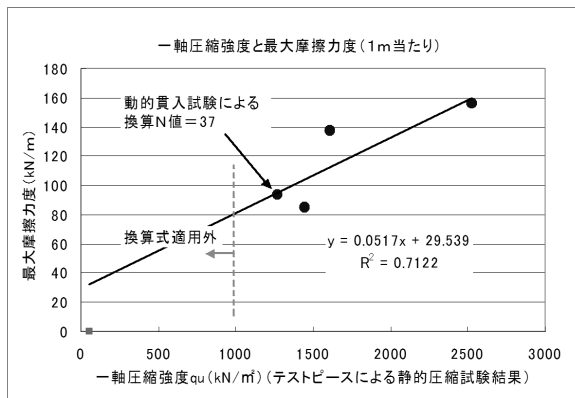


図4.鋼管膨張型ロックボルトの最大摩擦力

### 3.2.鋼管膨張型ロックボルトの適用対象

引張摩擦で設計するロックボルトの場合の適用範囲は、試験結果から一軸圧縮強度  $qu \geq 1,000 \text{ kN/m}^2$  程度の地盤が対象となる。ただし、海外では、土砂地盤に対しても補強対策として利用していることなどから、補強原理を正のダイラタンシー抑制等として考えることにより、利用の対象地盤の範囲は今後広がるものと考えられる。

本工法の利用対象としては、現在使用している鉄筋補強土工が対象としている法面・斜面にはほぼ全て利用可能である。低コストであることから、土砂災害防止法の特別警戒区域への個人負担による補強対策や、広範囲の自然斜面を補強するグリーンベ

ルト事業などへの適用も考えられる。また、グラウトを用いないため、開口節理を持つ岩盤や落石防止対策にも適用できるなど、利用範囲は非常に広いものと考えられる。

### 4. まとめ

巨大地震対策としての予防工や、自己責任による斜面防災対策が必要な時代になり、安価な斜面对策工の必要性が増してきた。今回、旧国鉄が盛土地盤対策(豪雨・地震)として利用してきた排水補強パイプと、海外で多く用いられていた膨張型ロックボルト工を、高耐食性メッキZAMを用いることにより恒久対策工として利用できるよう改良を行った。

地盤強度に対応した適用範囲をとりまとめると、図5のようになる。

N値等	N値					強風化岩	風化岩	岩盤
	0	3	10	20	30			
排水補強パイプ (ブレ穿孔併用)								
鋼管膨張型ボルト								
従来型ボルト								

図5.各工法の地盤の適用範囲

### 参考文献

- 1) (社)日本鉄道施設協会(1972): 盛土の耐震設計に関する研究報告書
- 2) 国土交通省土木研究所、耐震技術研究センター動土質研究室(2001): 山岳盛土の地震時流動破壊現象に関する実験的研究報告書、土木研究所資料第3807号
- 3) 西形達明ほか(2004): 鉄筋類挿入工法の補強機構と設計法に関する考察、材料、Vol.53, No.1, pp1-4
- 4) 日本道路公団(2002): 『切土補強土工法設計・施工指針』
- 5) 太田英将(2002): 圧入式排水補強パイプの引抜試験、第37回地盤工学研究発表会講演集, p2185-2186
- 6) 池田俊雄(1999): 『新編地盤と構造物』, 鹿島出版会, p166
- 7) S.D.Mckinnon(1990); Extending the traditional role of rock reinforcement, Constr Ind Int, VOL. 16, NO. 8, pp28-33