

雑誌名:**Tunnelling and Underground Space Technology (Vol.22,No.4,July 2007)**

表 題 : ***Tunnelling through a frequently changing and mixed ground: A case history in Singapore***[pp388 ~400]

頻繁に地質が変化する混在岩におけるトンネル掘削:シンガポールでのケース

概 要 :

シンガポールの一部大深度の下水用トンネルである Kranji トンネル掘削時の紹介文献である。このトンネルは、深さ 15~50 m で、延長 12.6km となっている。施工は、EPB (earth pressure balance) タイプの TBM を 2 機用いた。掘削径は 4.9 m である。地質は花崗岩であるが、新鮮な岩から破碎岩まで風化の程度にバラツキが大きくトンネル切羽では、硬岩から軟弱な地山が出現すると予想されていた。

当初から、硬岩から軟弱な地山までが想定されていたため、TBM の設計もこの地質条件を考慮して行われ、カッターヘッドには、リッパーとディスクカッターの両者をコンビネーションして設置した。ところが、掘削中に、硬岩と堆積土の間の地質の変化が、想定していたよりも遥かに激しいことが分かり、この変化に対応するため、TBM の掘削モードを頻繁に変更しなければならなかった。また、カッターの偏磨耗や切羽の不安定化、風化層からの湧水等も想定外で、結果的に、最適な TBM オペレーション状態とは大きく異なり工程に影響した。そして、これらの困難を乗り越えるために、TBM のカッターヘッドとスクリーコンベアをはじめとしたいくつかの改善を行い、TBM の掘削パフォーマンスは飛躍的に向上した。しかしながら、カッターの磨耗については改善が困難であった。

雑誌名:**Tunnelling and Underground Space Technology (Vol.22,No.4,July 2007)**

表 題 : ***Back-analysis of Shimizu Tunnel No.3 by distinct element modeling***[pp400 ~413]

清水第3トンネルにおける個別要素モデルによる逆解析

概 要 :

1998 年に日本で建設された延長 1.1km の清水第3トンネルは、第二東名・名神高速道路のトンネルの中で最初に施工されたトンネルである。トンネルの地質は砂岩泥岩互層と砂岩層が主体であり弾性波速度は 3.3~3.5km/s と比較的高く岩石自体は比較的硬いものの、断層などの影響による亀裂が発達した地山となっている。

この清水第3トンネルにおいて大断面トンネルの挙動に関する理解を深めることを目的として、事前に FEM 解析や個別要素法解析による検討が行われていた。また、施工時についても個別要素法による逆解析による検討が行われており、この論文ではこの内容について報告している。

建設中の清水第3トンネルの逆解析は、個別要素法 (UDE C) を用いて実施された。この個別要素法による解析では、地山特性曲線の考え方を導入した convergence-confinement 理論を用いており、また、層理およびこれに直交する節理 (不連続面) をモデル化している。逆解析を行い、さらに、予測解析を行った結果と計測値を比較すると、以下のことがわかった。

- ・変位については天端沈下・内空変位ともにほぼ解析値と計測値が一致した。
- ・ロックボルト軸力は解析値が計測値より全体的にやや大きいほぼ一致した。
- ・鋼製支保工・吹付けコンクリートの軸力は解析値が計測値よりやや小さいがほぼ一致した。

以上の解析結果から、個別要素法におけるモデル化の有効性が確認されたとしている。

**概要:**

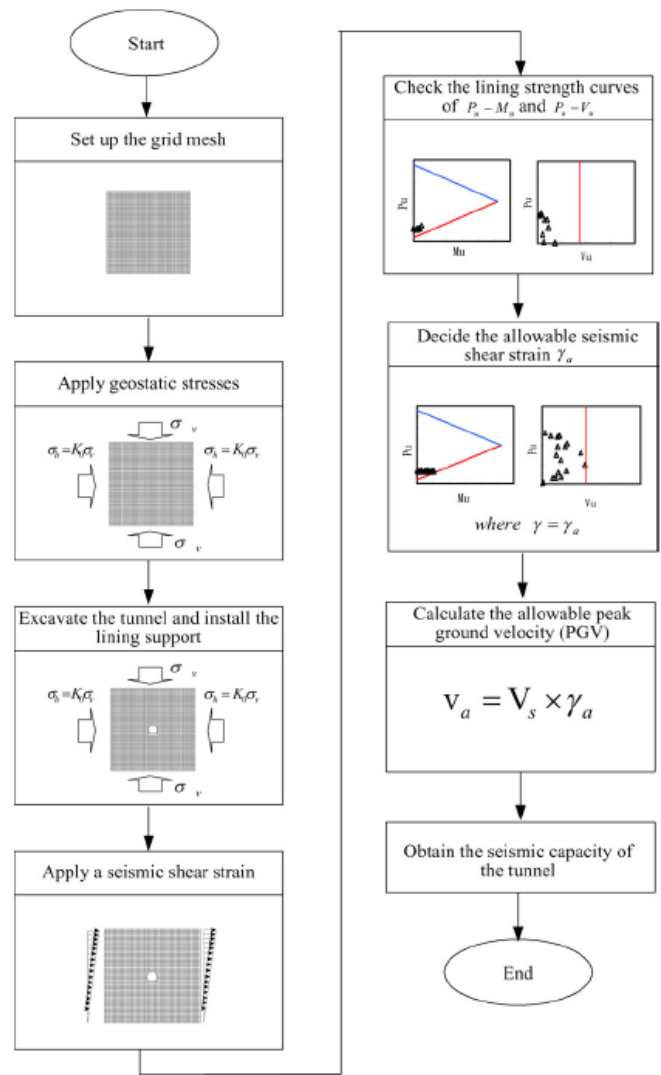
三義の旧鉄道トンネル群は9本のトンネルからなる。これらは1908年に構築され、1998年には新たな1本の長大トンネルルートに置き換えられたため不必要なものとなったが、近年観光用に再利用されることが計画され、その耐震性を評価する必要性が生じた。三義旧鉄道トンネル群は、1935年の新竹-台中地震 (M7.1) と1999年の集集地震 (M7.3) の2度の大地震を経験している。

耐震性の評価は、従来の経験的手法と、本件で新たに提案した MCSRD 法 (a Modified Cross-section Racking Deformation method) の2つの手法で行った。MCSRD 法は簡易で計算も速く、経験的手法では評価できない地山と地下構造物間の相互作用を考慮できる耐震性評価手法である。MCSRD 法による評価手順は以下のとおりである。

- (1)メッシュ作成
- (2)初期地圧計算
- (3)トンネル掘削・支保設置
- (4)地震時せん断歪みの付加
- (5)支保の発生断面力の確認
- (6)限界せん断歪み(インプット)の抽出
- (7)地山速度 (PGV) の許容値の算出
- (8)震度等の耐震性指標の評価

なお MCSRD 法による評価では、2次元差分法解析コード FLAC を用いた。

三義の旧鉄道トンネル群の耐震性の評価結果は、MCSRD 法の方が経験的手法に比べ、日本の気象庁の震度で1ランク程度高いものとなった。また過去2回の大地震における計測値、被害状況等と比較した結果、MCSRD 法での評価が十分信頼性の高いものであることが確認された。また、動的解析も実施し、MCSRD 法での評価と比較した結果、MCSRD 法ではヒステリシス等も考慮した真の意味での非線形性は評価できないものの、発生断面力の最大値などは十分評価できていることが確認された。今後より多くの実測データを収集し、MCSRD 法の適用性をさらに検証すべきであると考えられる。



MCSRD 法の概略評価フロー

雑誌名:Tunnelling and Underground Space Technology (Vol.22,No.4,July 2007)

表 題 : *Finite element analysis of tunnel-soil-pile-interaction using displacement controlled model*[pp450 ~466]

変位制御型 FEM によるトンネル-地盤-杭基礎相互解析

概 要 :

トンネル掘削付近に杭基礎等の既設構造物が存在する場合、トンネル掘削による地盤変位を正確に再現し、既設構造物に与える影響を適切に評価することが重要である。しかし、一般に行われる荷重制御型の FEM 解析では、トンネル掘削による地表面変位は計測値に比べ浅く広い変形モードになりやすく、既設構造物に与える影響が正しく評価できない事が多い。この問題に対処すべく、トンネル掘削による既設構造物への影響を適切に評価できる、単純かつ有用な変位制御型の FEM (DCM) を開発し、適用した。

DCM は 3 つの仮定に基づいている。①インバートの浮き上がり量は天端沈下量に比べ小さい。②変形後のトンネル形状は元のトンネル形状に依存する。③掘削によるトンネル内側へ向かう変位の中心点は土被りと掘削径に依存する。

DCM の特徴は、ボリウムロスを考慮していることである。ボリウムロスは天端・インバートの変位比のために用い、以降の解析事例においては、インバートの変位を 0 と仮定している。

ヒースロートンネルの解析事例では、地表面沈下、地中水平変位ともに、荷重制御型の FEM に比べ DCM が計測値により近い結果となっていることがわかる。

シンガポールの NEL 線では、高架橋杭基礎の側方離れ約 4 m の位置両側に直径 6m のトンネル 2 本を掘削した。トンネル掘削による杭基礎への DCM にて評価した結果、軸力増分、曲げモーメント増分ともに計測値と非常に近いものとなった。

開発した DCM では、トンネル掘削による地盤変位を適切に再現でき、また、既設構造物に与える影響も適切に評価することができる。