

既設トンネル拡幅時の地山挙動と対策工について

THE BEHAVIOR OF ROCK MASS AND COUNTERMEASURES OF A SUBJECT TO EXTENSIONAL EXCAVATION

角南 明彦¹⁾・横山 和昭¹⁾・西村 誠一²⁾・木村 正樹³⁾・鳥居 敏³⁾

Akihiko SUNAMI, Kazuaki YOKOYAMA, Seiichi NISHIMURA, Masaki KIMURA, Satoshi TORII

TENNNOZAN TUNNEL were constructed as two lane highway tunnels 35 years ago. An extension of cross section was planned because of modern traffic increase. The initial construction had experienced large deformation and high pressure on concrete lining due to landslides in the west portal. On the actual extension, the collapse of sand layer and large deformation of old tunnel lining occurred. It was clarified that this large deformation is due to loosening of sand layers by excavation and successive stress redistribution in fault zone. Finally, the Authors adopted AGF method as a countermeasure and completed the extension of cross section.

Key words : extension of cross section, large deformation, AGF method

1. はじめに

21世紀のトンネル技術は環境へのインパクトをできるだけ抑制したトンネル建設技術開発が求められている。新しいトンネル建設は地下水低下、地表面沈下、発生土の廃棄・処理などの数多くの環境への影響が予想される。従って、環境への配慮を考えれば低コストで長期間メンテナンスフリーを目指した既設トンネル改築が今後開発すべき重要な施工技術のひとつとなると考えられる。本報告は2車線道路トンネルの改築工事のうち、未固結層および断層破砕帯通過時に見られた地山挙動とその対策について述べるものである。

2. 工事概要

(1) 地質概要

天王山トンネルは大阪と京都の府境に位置する全長約1400mの高速道路トンネルである(図-1)。近年の交通量増加に伴う渋滞を緩和するため既設線の北側に新規に2本の2車線トンネルを掘削した上で既設トンネルの断面拡幅を行ったものである。起点側坑口より1200m程度は中古生層の丹波層群砂岩・頁岩を中心として複雑な構造を持って分布しているが、終点側約200mは未固結層である大阪層群が分布している。

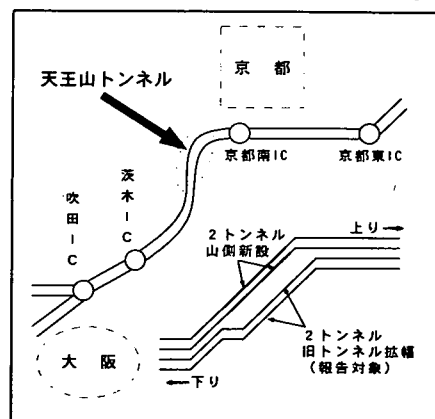
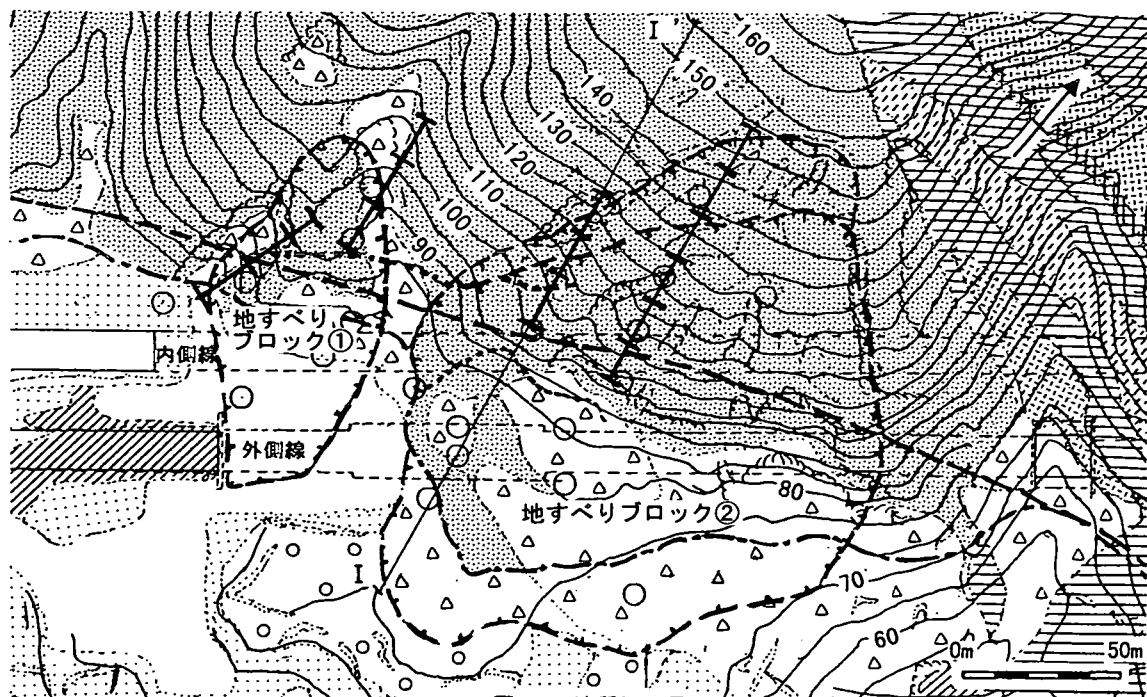


図-1 調査地案内図

1) 正会員 日本道路公団大阪建設局茨木工事事務所

2) 正会員 ㈱熊谷組 大阪支店

3) 正会員 応用地質株式会社



図—2 地質平面図

凡例

推定地すべりブロック

35年前に確認された
滑落崖

トンネル施工レベルの
断層位置

地表面における断層上
盤先端の位置

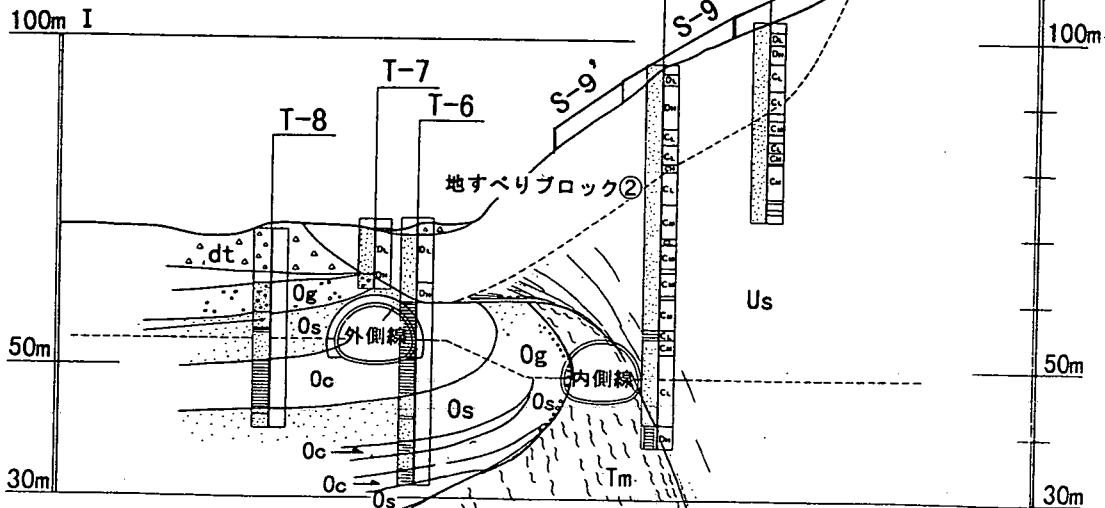
伸縮計設置位置

○ ボーリング地点

盛土
崖錐堆積物
中位段丘堆積物
高位段丘堆積物
大阪層群下層部
(Ma1 相当層)
丹波Ⅱ型地層群
超丹波帯 高槻層

平面図	断面図
	bn
	dt
	tm
	th
	Oc
	Os
	Og
	Tm
	Ts
	Tc
	Tg
	Us

砂礫
砂礫
シルト・粘土層
砂層
砂礫層
頁岩 (泥質メランジェ)
砂岩
チャート
緑色岩
砂岩



図—3 地質断面図 (I—I' 測線)

両者は天王山断層を介して接しており、丹波層群が大阪層群に乗り上げる逆断層となっている（図－2・3）。

(2) 本トンネル終点側坑口における技術的課題

天王山トンネルの終点側坑口は、35 年前の施工時、特に変状の激しかった部分である。このため、以下の技術的課題が指摘された。

- ① 35 年前の変状原因の推定
- ② 拡幅方法の選定と施工時の地山挙動把握

当時の工事記録によると、終点側坑口は 35 年前に覆工に約 1m の押し出しを生じたり、両側側壁が谷側へ移動するなどの変状を生じ、縫い返し・2 重覆工の打設・インバート打設などの対処により、断面縮小させた上でようやく掘削を完了している。また施工中に地表部においては滑落崖（延長 60m と 100m の 2 本、段差の水平距離約 50 cm、鉛直距離 60～80 cm）が発見されたり、直径約 7m の陥没を生じたりしている。このため、変状原因推定のための調査を実施した（ボーリング 24 孔、計 853m 地表踏査）。その結果、坑口付近において 2 つの地すべりブロックが推定された。

この 2 つの地すべりブロックは、35 年前施工時にトンネル掘削により形成され、トンネル覆工打設完了に伴い収束したと考えられた。このため、トンネル覆工が抑止杭的な役割を果たしている可能性があり、断面拡幅により地すべりの再滑動を引き起こすことが懸念された。そこで、地すべり対策として地すべりブロック①に対しては盛土工、地すべりブロック②に対しては抑止杭工（φ2000、L=30m、N=29 本）を実施した。

(3) 拡幅方法の選定

前段で述べたように、35 年前の掘削時に周辺地山を大きく緩めていると推定されることから、覆工背面の状況把握および施工方法が問題となった。そこで、実際に大阪層群内で試験的に覆工に調査窓（2m×2m）を設けて観察したところ、覆工上部に堆積した崩落土砂はあるものの、地山本体は自立しており新たな振動などを与えないかぎり崩落は発生しなかった。しかしこの調査窓をブレイカーにより切り抜けるとブレイカーの振動により奥側の安定した地山 2m 程度までが崩落した。そこで地山の安定確保のため超微粒子セメントを主材料にした瞬結タイプの薬液注入を覆工背面から 2m の範囲について実施した。

掘削は超大型ブレイカー（3.8t 級）を使用した機械掘削方式とし、上半ショートベンチ NATM で地山と旧覆工コンクリートを取り壊しながら行った。

3. 内側線施工の経緯と変状発生メカニズムの推定

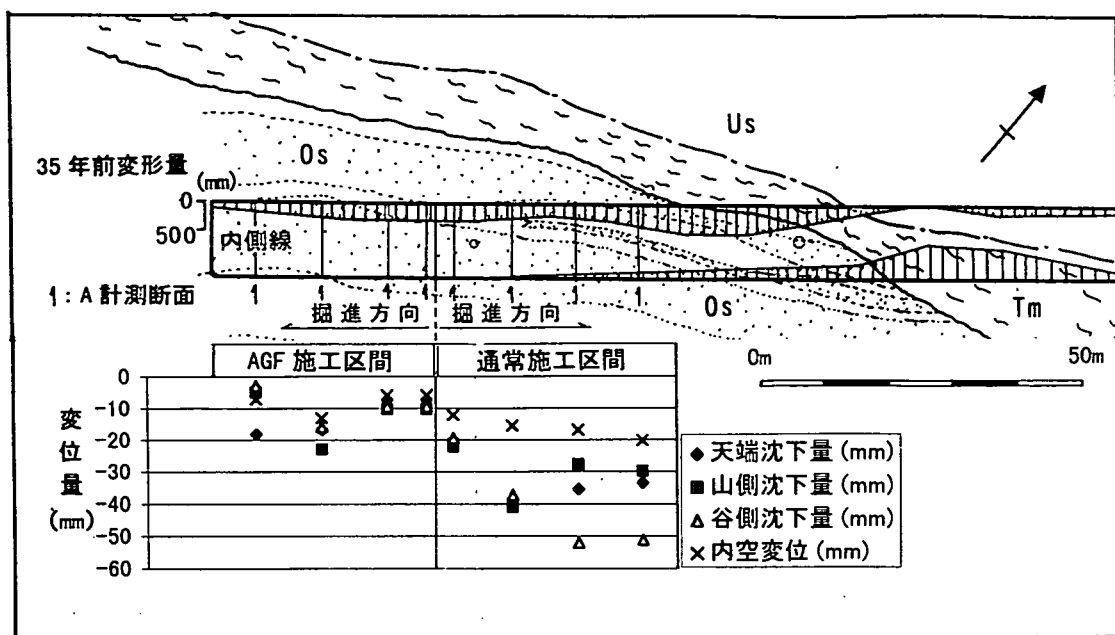
(1) 変状発生までの施工状況

掘削は内側線の坑口から 45m 地点より、坑奥側に向かって開始した。内側線坑口部分の計測結果をまとめて図－4 に示す。いずれの区間でも沈下が卓越していることが明瞭である（坑口側は AGF 工法を採用しているため変位が小さい）。これは、足元が未固結層であるために支持力不足を生じ、トンネル全体が沈下しているものと推定される。また、特に砂層においてはブレイカーの振動による崩落が激しいことから、注入式フォアボーリング（L=3m、30～60kg/本）により対処していた。しかし、内側線坑口から 75m 地点で砂層崩落が発生した。

(2) 変状発生状況

内側線 75m 地点の変状発生状況を以下に示す（図－5 参照）。

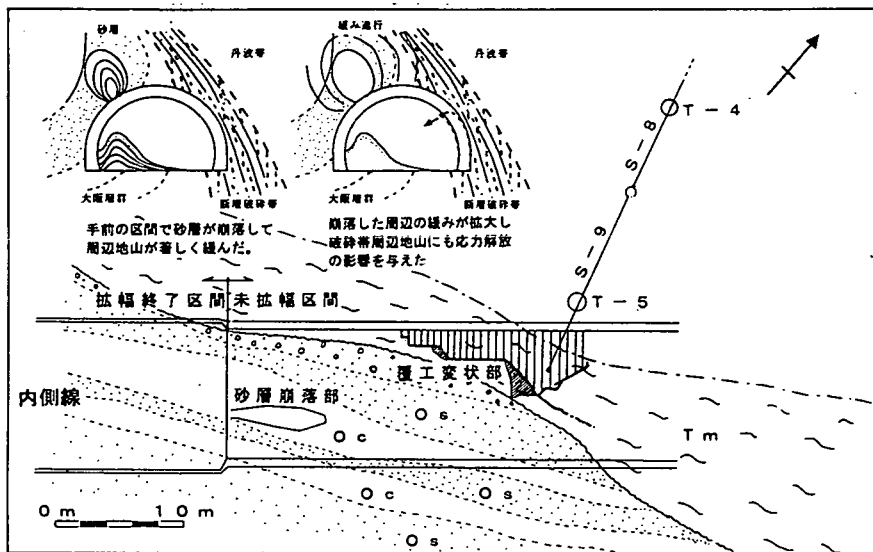
まず掘進中に砂層が 30 分で 50m³ の規模で崩落した。さらにその翌日、砂層崩落部から 14m 先の旧覆工部分山側において、縦断方向約 10m にわたって内空側に最大 15 cm の押し出しを生じているのが発見された。こ



図—4 内側線掘削時 A計測結果図

の旧覆工変状部分の背面は、ちょうど大阪層群と天王山断層破碎帯との境界に位置していた。

この一連の変状発生中の計測結果を図—6に示す。砂層崩落発生と同時に、土被り約 45m にある地表面伸縮計に伸び方向の動きが記録された。トンネル直上にある S—9 がまず反応し、その後 S—8 にも動きがあらわれた。しかし、S—8 の上に設置された S—7 には



図—5 内側線 75m 地点変状発生状況および原因推定図

変位の継続は認められなかった。また、トンネル山側近傍に設置された 3 方向変位計 (T—5, スライディングディフォーマータ E) にも変位を生じた。図—6 内に仮インポート打設までの変位ベクトルを示すが、これによると地すべりブロックより上部が斜面下方向へと変位していることがわかる。

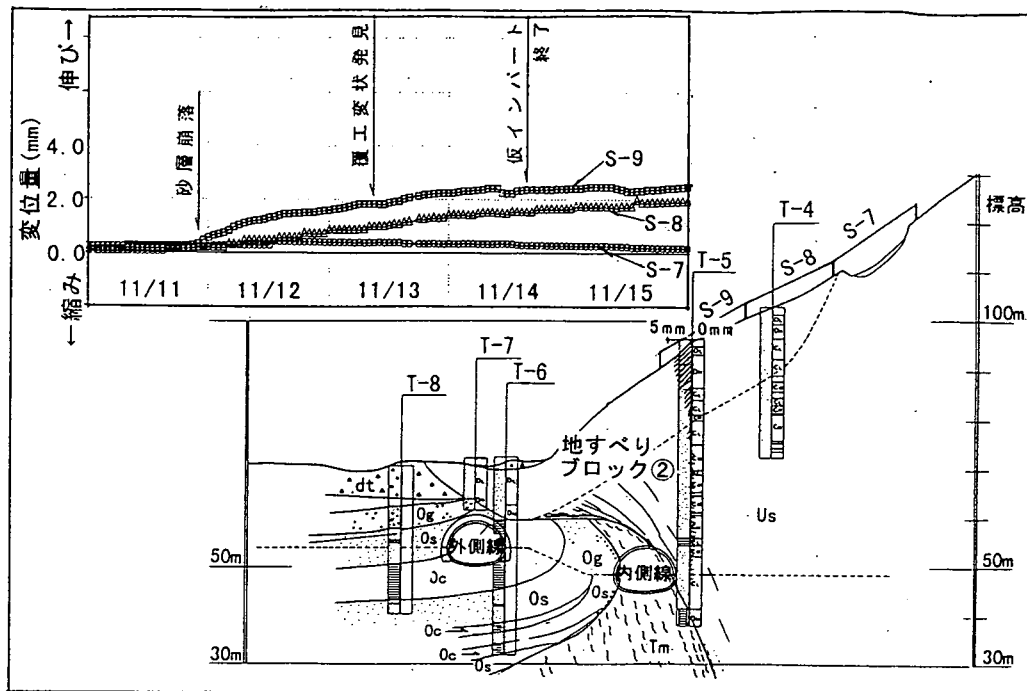
(3) 変状メカニズムの推定

一連の変状発生を以下のように推定した (図—5 左上参照)。

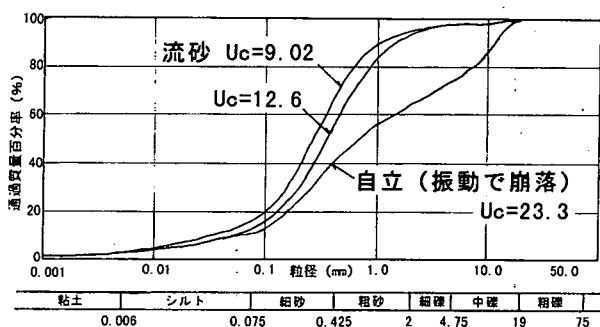
1. 旧支保工除去と拡幅時の振動で大阪層群の粗砂層が緩む。
2. 細粒分が少なく、自立性の悪い天端付近の砂層 (図—7 参照) がフォアポーリングの間を縫って崩落 (図—8 参照)。
3. 崩落部分の空洞周辺の砂層、粘土層に徐々に緩みが進行。
4. 緩んだ砂層に隣接する破碎帯が押し出し、亀裂が拡大 (川側は大阪層群で断層破碎帯ほど緩みにくい

ためクラックが発生していない)。

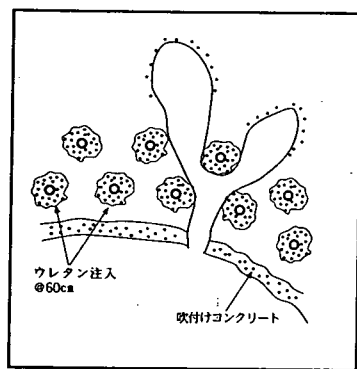
このように、砂層崩落の影響が徐々に大阪層群の緩みや丹波層群の弱層の変形を拡大させ、旧覆工の亀裂が進行したものと推定された。



図—6 変状発生時計測結果一覧図 (I—I' 測線)



図—7 崩落砂の粒径加積曲線



図—8 砂の崩落状況模式図

(4) 変状区間対策工

砂層崩落による周辺地山の緩みが変状原因であると推定されたため、これ以上の緩み拡大を防ぐことを目的として、崩落により発生した空洞をウレタン系充填材により充填した。そして応急対策工として変状区間に吹付コンクリート (厚さ 10 cm) ・ロックボルト全周打設 (長さ 6.0m) ・坑内盛土・仮インパートの打設を実施した。

この一連の応急対策工実施により伸縮計および3方向変位計の変位は落ち着きを見せた。しかしS-8およびT-4の変位が完全に収束せず、地すべりの再滑動が懸念されたため、この区間の掘削は地表部の抑止杭工が完了後再開とした。

さらに掘削にあたっては側壁部にロックボルトを追加するとともに、探り削孔で砂層位置の事前把握を行い、砂層部分については注入圧管理のみによる注入式フォアボーリングを実施し、砂層を面で受けることにより崩落を防止した。

抑止杭工完了に伴いS-8、T-4の変位も収束し、トンネル掘削再開時には10mm以下の内空変位量で無事掘進を終了した。

4. 外側線の施工状況

外側線の大阪層群区間については、確実に砂層の抜け落ちを防ぐことを目的として長尺先受け工を追加採用した。長尺先受け工には種々あるが、実績が多く現有機械で対応できるAGF工法を採用し、大阪層群内で10シフト実施した。なお、外側線において35年前施工時に大変形が発生し2m巻厚で再施工した箇所は改築断面が旧覆工コンクリート内に収まるためAGFは省略した。外側線においてのA計測結果を図-9に示すが、坑口部の1点を除いて10mm未満となり、沈下も含めて内側線よりも小さな値に収まっていることがわかる。このことから、AGF施工により切羽安定および変形抑制効果が十分に発揮されたものと判断される。また、外側線施工時には傾斜計および伸縮計の計測結果にも変位の増加は見られず、AGF施工により切羽安定を確保したことが地すべりの挙動の阻止にも役立ったと考えられる。

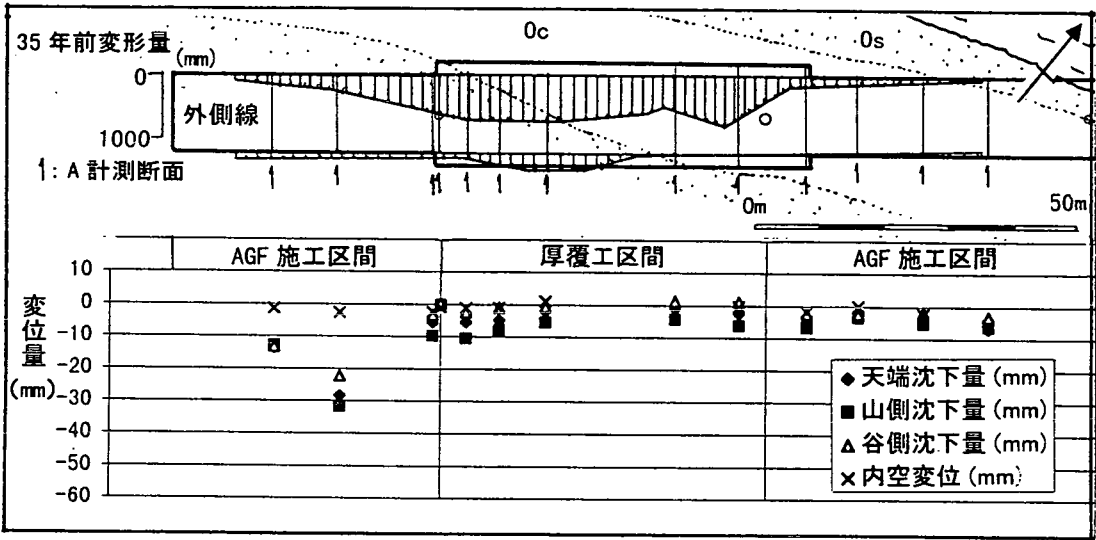


図-9 外側線掘削時 A計測結果図

5. おわりに

天王山トンネル終点側坑口は複雑な地質構造、断層破碎帯の存在などにより当初予想された以上の問題が発生したが、数々の対策工の実施により平成9年8月に無事貫通した。これだけ大規模なトンネル拡幅工事は過去に例がなく、断層部での施工ということでさらに貴重な記録であると考えている。本報告が今後の拡幅工事における何らかの参考になれば幸いである。最後に、現場計測の実施にあたり日本道路公団大阪建設局茨木工事事務所および熊谷・間共同企業体の関係者各位のご協力に感謝いたします。

<参考文献>

1) 角南明彦、横山和昭、上條彪、西村誠一、越智啓介；未固結地山での既設トンネル拡幅改築工事、土木学会関西支部講演論文集第VI部門、1999.5

2) M.Kitada,K.Hayashida,S.Sakurai,S.Akutagawa,T.Sakamoto,Y.Okabe,M.Shinji: Interpretation of deformational behavior and support mechanism of a 35 year-old tunnel subject to extensional excavation,ITA99 OSLO