

RCセグメント設計におけるボルト締結を伴わない継手の適用性に関する研究

Study on Applications of New Type Joints without Tightening Bolts for Reinforced Concrete Segment Designing

江森吉洋¹・竹内友章²・有泉毅³・高橋晃⁴

Yoshihiro Emori, Tomoaki Takeuchi,
Takeru Ariizumi and Akira Takahashi

¹正会員 東京電力株式会社 建設部土木・建築技術センター (〒100-8560 東京都千代田区内幸町1-1-3)

E-mail:emori.yoshihiro@tepcoco.jp

²フェロー会員 東京電力株式会社 電力流通本部 (〒100-8560 東京都千代田区内幸町1-1-3)

³正会員 博士(工) 東京電力株式会社 工務部(東電設計(株) 出向) (〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3)

⁴正会員 東京電力株式会社 東京支店東京工事センター (〒116-8550 東京都荒川区東尾久5-31-11)

New type joints without tightening bolts are rare for using to beam-spring model analysis on reinforced concrete segment designing. And physical properties of the joints are evaluated by load tests one by one. Therefore it is difficult to use new type joints without tightening bolts for beam-spring model analysis on planning designs.

This study examines applications of the joints by researching of rigidity and parameter studies, which aims to apply in beam-spring model analysis on planning designs.

Key Words : shield tunnel, segment's joint without tightening bolt, reinforced concrete segment

1. はじめに

シールドトンネル工事は近年長距離化・高速施工化し、施工にあたってはボルト締結を伴わず組立作業が容易で内面が平滑になる継手¹⁾(以下: 新型継手)を持つセグメントの使用が多くなっている。一方、設計面においては土木学会のトンネル標準示方書²⁾に2006年の改訂で限界状態設計法が追記され、セグメント設計も性能規定化の動きにあると言える。

このような情勢の中で、新型継手を使用したセグメントの設計は、従来使用されてきた慣用法では継手部の耐荷性能や変形性能を照査することが不可能であるため、はりばねモデルによる計算法が今後主流になると思われる。

しかし新型継手のはりばねモデル計算法への適用については事例が乏しく、部材の剛性は個別に実験で確認していることが実情である。このため発注

設計段階で、新型継手を採用したはりばねモデルによる設計を実施することは困難となっている。

そこで本研究は発注設計における新型継手のはりばねモデル計算法への適用を目的に、パラメータ解析などによりその適用性を評価した。

2. 発注設計における新型継手適用の課題

新型継手は初期締結力を見込めないタイプのものが多く、一般に従来使用されてきたボルト継手に比べて剛性が低いことが懸念される。このような低剛性の継手を使用してセグメント設計を行った場合、継手に比べセグメント本体がより多くの荷重を負担するため、セグメントの必要高さがボルト継手での設計時よりも増加する場合がある。このセグメント高さの増加は高速施工をねらった新型継手の採用によるコストダウン効果が大きく損なわれる可能性を

含んでいる。

また別の問題点としては、通常の発注設計時には固有の継手を指定できないことも挙げられる。

上記のような課題への取組として、まず新型継手に関する剛性や採用実績などの調査を行った。

3. 新型継手についての調査

(1) 調査方法

セグメント構造はコスト削減を目的として、組立て時間短縮を図ることが可能な多種多様な技術がセグメントメーカー・施工会社などから提案され実用化されている。

著者らはこれらの開発されたセグメント構造について文献調査や各社へのヒアリング調査を実施した。なお対象範囲の条件は①RCセグメントであること、②ボルト締結を伴わない組立方式の継手であることとした。

調査の結果、21の継手種類について情報を得ることができた。

(2) 継手の選定

上記21種類の継手はセグメント継手とリング継手で異なる種類で構成されている物が多い。そこで以降の検討にあたっては、セグメント継手とリング継手を区別して評価することとした。その結果、セグメント継手は18種類に、リング継手は14種類に分けられる。この継手について更に以下の条件で絞り込みを行った。

- ① 中小口径トンネルでの多くの実施例があること
 - ② 突き合わせタイプの継手はばね定数の設定方法がすでに整備されている³⁾ため除外する
- その結果以下の6種類の継手が選定された。

(3) 選定された継手の概要

a) セグメント継手

・ スライドタイプ

図-1に示すように、オス側金物がメス側金物に挿入され(動作A)、オス側金物がスライドし(動作B)、嵌合することにより締結される構造⁴⁾⁵⁾であり、今回の調査では金物や定着筋の剛性の違いから、セグメント継手Ⅰとセグメント継手Ⅱの2種類が選定された。

・ 円錐台形金物タイプ

図-2に示すように、スリットを有する円錐台形のメス側金物に、同じく円錐台形のオス側金物が軸方向にスライドしながら嵌合する継手⁶⁾であり、以下セグメント継手Ⅲと記す。

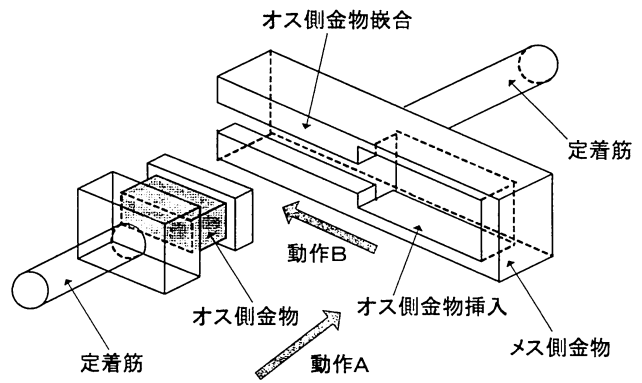


図-1 セグメント継手ⅠおよびⅡの構造概要

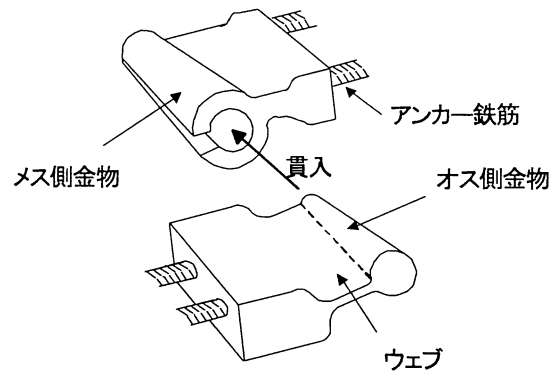


図-2 セグメント継手Ⅲの構造概要

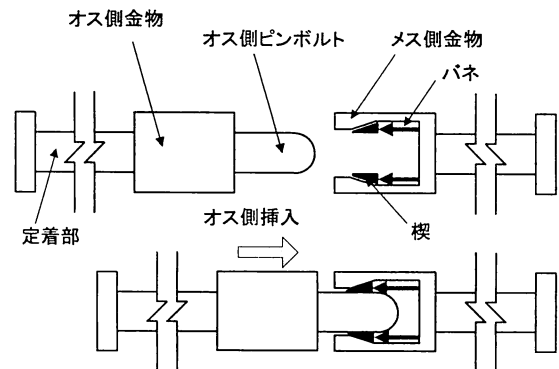


図-3 リング継手Ⅳの構造概要

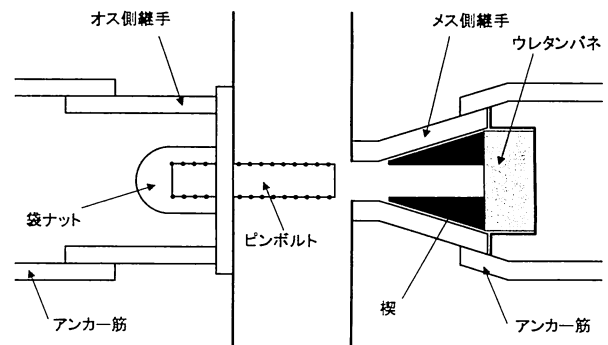


図-4 リング継手Ⅴの構造概要

b) リング継手

- ・ ピンボルトタイプ

図-3に示すようにオス側継手がメス側継手に挿入され、メス側継手内部に設置された楔がばねによってオス側ピンボルトを押さえ込み、オス側金物の後戻りをなくす構造⁴⁾である。以下リング継手Ⅳと記す。

また同種のもので図-4に示すように、オス側ピンボルトの鋸目がメス側継手の楔に噛み混むことにより、引き抜き耐力を保持する構造⁷⁾の継手もある。これをリング継手Ⅴとする。

- ・ 鋼管摩擦接合タイプ

表面に特殊塗装を施した鋼管を押し込み、鋼管同士を摩擦接合で容易に締結できる継手⁸⁾である。これをリング継手Ⅵとする。

4. 新型継手の剛性評価

(1) セグメント継手の回転ばね定数

前章の調査結果や著者らの所属する企業の工事で実験を行ったデータからセグメント継手Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの回転ばね定数を評価した。評価にあたってはボルト継手の剛性と比較するために、新型継手それぞれの回転ばね定数をボルト継手のそれで除して無次元化を行った。この無次元化された数値を縦軸に、ばね定数を求めた時のセグメント高さを横軸に整理したものを図-5に示す。ここでボルト継手の回転ばね定数は、ボルトの降伏より継手版の降伏が早くなる条件下においてセグメント高さに収まる範囲で最大となる部材寸法より求めたものである。

継手別の採用数が異なり直接の比較は難しいが、傾向としてはセグメント継手Ⅲが最も剛性が高く、次いでセグメント継手Ⅱ、セグメント継手Ⅰとなっている。また一部を除いて縦軸の値が1よりも小さいデータがほとんどであり、概ね0.1～1.0の範囲に収ま

っている。

(2) リング継手のせん断ばね定数

回転ばねと同様にリング継手Ⅳ、Ⅴ、Ⅵについてせん断ばね定数をボルト継手のそれで除して無次元化したものを縦軸に、ばね定数を求めた時のセグメント高さを横軸に整理したものを図-6に示す。ここでボルト継手のせん断ばね定数は1,000kN/mmとした。これは吉本ら⁹⁾の報告による限界状態設計法の耐荷性能評価において、リング継手を高めの剛性で評価した方が添接効果により本体の荷重負担が大きくなり、安全側の設計を実現できることから、リング継手のせん断ばね定数を無限大に近く設定していることに起因するものである。

セグメント継手と同様、継手別の採用数が異なり直接の比較は難しいが、傾向としてはセグメント継手Ⅳが最も剛性が高く、次いでセグメント継手Ⅴ、セグメント継手Ⅵとなっている。またボルト継手との比較に関しては概ね3割程度以下であることが確認された。

(3) 新型継手の剛性評価に関するまとめ

新型継手の回転ばね定数、せん断ばね定数をボルト継手のそれと比較した結果、新型継手の回転ばね定数はボルト継手の約10～100%であり、新型継手のせん断ばね定数はボルト継手の約1～30%であることが確認された。

そこでばね定数低下の度合いが、コスト上影響の大きいセグメント高さにどの程度影響が生じるかという点について、トンネル径、地盤種別、トンネル深さなどを変化させたパラメータ解析により感度の分析を行った。

パラメータ解析にあたっては、発注段階での設計を対象にするために、個々の継手の剛性を指定する

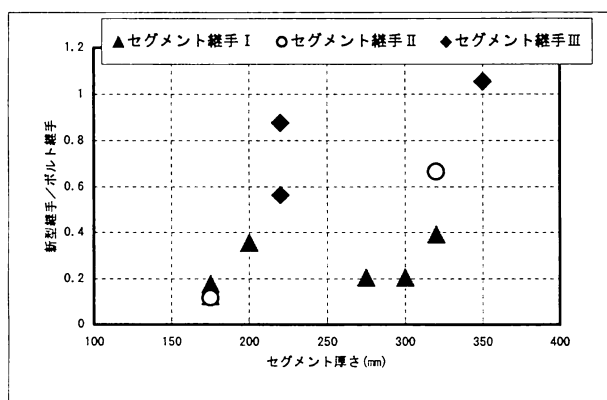


図-5 新型継手とボルト継手との回転ばね定数の比較

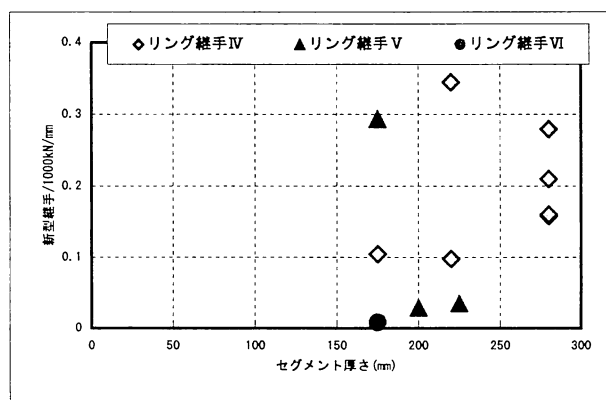


図-6 新型継手とボルト継手とのせん断定数の比較

のではなく，ボルト継手の剛性に対しての割合（図-5などの縦軸）で評価する方法で実施した．

5. 新型継手のパラメータ解析による適用範囲の照査

(1) パラメータ解析の条件

a) トンネル径とセグメント幅および地盤条件

トンネル径は中小口径トンネルの工事規模を想定し，表-1に示す3種類とした．また地盤条件は表-2に示す4種類の地盤種別とそれぞれ3種類の土被りにより，MC10～HC30までの12種類の地盤条件とした．

b) 継手ばね定数

継手の回転ばね定数とせん断ばね定数は表-3のように設定する．これは前章の新型継手の剛性評価結果から，ボルト継手のばね剛性を最大値として，新型継手のばね定数を減ずるようにしている．なお低減の程度は図-5，図-6からなるべく該当する継手があるように設定した．

c) 解析方針

照査は傾向の把握のため，土水圧による許容応力度の照査に留めた．このためセグメント本体は線形で解析した．

また照査は耐荷性能（セグメント本体の応力度），変形性能（リング変形量，継手部の目違い量・目開き量）の照査とした．

d) 照査限界値

応力度照査の限界値は

コンクリートの許容圧縮応力度： $\sigma_{ca} = 16 \text{ N/mm}^2$

鉄筋の許容引張応力度： $\sigma_{sa} = 200 \text{ N/mm}^2$

とした．

一方，変形照査の限界値は

リング変形量：トンネル内径の1/150

目違い量：0.5mm

目開き量：1.0mm

とした．

e) 目開き量の換算方法について

目開き量は単鉄筋をボルトに置き換えて，RC構造計算で求まる中立軸位置からセグメント下端までの距離に，はりばね計算で算出した継手回転角を乗じて目開き量を算出するボルト継手の算定手法¹⁰⁾を準用した．

今回の解析においては，ボルトの有効高さはセグメント高さの中心位置としていること，ボルトの径は新型継手の鋼材断面積を換算していることが特徴

表-1 トンネル径とセグメント幅

ケース記号	S	T	F
外径	2.6m	3.5m	4.5m
幅	1.0m	1.2m	1.2m

表-2 地盤種別

地盤	MC			SC			LS			HC		
	中位の粘性土			非常に軟らかい粘土			緩い砂質土			固い粘性土		
λ	0.70			0.80			0.55			0.50		
k (MN/m ³)	7.5			0.0			5.0			20.0		
土水扱い	土水一体			土水一体			土水分離			土水分離		
鉛直土圧	全土被り圧			全土被り圧			全土被り圧			緩み土圧		
土被り	10m	20m	30m	10m	20m	30m	10m	20m	30m	10m	20m	30m
ケース記号	MC10	MC20	MC30	SC10	SC20	SC30	LS10	LS20	LS30	HC10	HC20	HC30

表-3 ばね定数パラメータ

回転ばね定数パラメータ		せん断ばね定数パラメータ	
設定剛性	記号	設定剛性	記号
ボルト継手100%	T0	ボルト継手100%	S0
ボルト継手80%	T1	ボルト継手30%	S1
ボルト継手60%	T2	ボルト継手10%	S2
ボルト継手40%	T3	ボルト継手1%	S3
ボルト継手20%	T4		

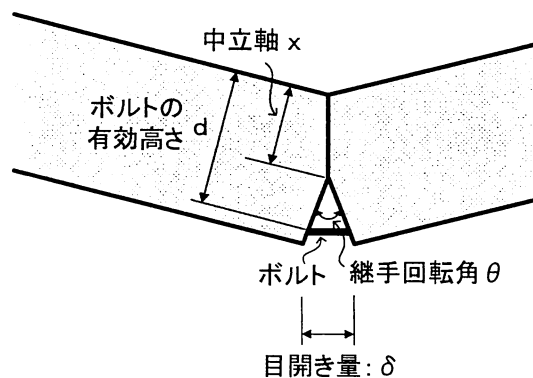


図-7 ボルト継手の目開き量換算に関する概念図

である．なお新型継手は同製品であっても部材寸法が異なり，鋼材断面積も必然的に異なる．しかし今回の調査の結果，セグメント高さと継手の使用タイプの実績はほぼ一義的な関係が見られることから，計算時のセグメント高さに応じた継手の仕様および鋼材断面積を選定し，目開き量の算定に使用した．

(2) 解析結果

解析の結果をトンネル径，地盤種別，土被りごとに表にまとめた．トンネル外径2,600mmのケースを表-4に，トンネル外径4,500mmのケースを表-5にそれぞれ示す．

表の見方を表-4の左上段である地盤種別が中位の粘性土，トンネル土被り10mのケースで概説する．表中の①の箇所は回転ばね定数，せん断ばね定数と

もにボルト継手の剛性100%の組み合わせである。これに対し⑳は回転ばね定数がボルト継手の20%でせん断ばね定数がボルト継手の1%の組み合わせである。㉔は凡例の記載の通り、変形照査により不適となるケースである。

これは㉑で照査したセグメント高さにおいて、㉔の組み合わせでは変形照査により不適となり、セグ

メント高さを増やす必要があることを意味している。または㉒のように回転ばね定数を2ランク上げるか、あるいは㉓のようにせん断ばね定数を1ランク上げることで照査を満足できるという選択も可能である。

表-4 トンネル外径φ2,600mmの変形ならびに応力度照査結果

凡例  : 変形照査により不適となるケース  : 応力度照査により不適となるケース  : 変形、応力度照査ともににより不適となるケース

MC					SC					LS					HC				
MC10m					SC10m					LS10m					HC10m				
せん断ばね					せん断ばね					せん断ばね					せん断ばね				
	100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%
回転ばね	100%	①	②	③	④	100%					100%					100%			
	80%	⑤	⑥	⑦	⑧	80%					80%					80%			
	60%	⑨	⑩	⑪	⑫	60%					60%					60%			
	40%	⑬	⑭	⑮	⑯	40%					40%					40%			
	20%	⑰	⑱	⑲	⑳	20%					20%					20%			

MC20m					SC20m					LS20m					HC20m				
せん断ばね					せん断ばね					せん断ばね					せん断ばね				
	100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%
回転ばね	100%					100%					100%					100%			
	80%					80%					80%					80%			
	60%					60%					60%					60%			
	40%					40%					40%					40%			
	20%					20%					20%					20%			

MC30m					SC30m					LS30m					HC30m				
せん断ばね					せん断ばね					せん断ばね					せん断ばね				
	100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%
回転ばね	100%					100%					100%					100%			
	80%					80%					80%					80%			
	60%					60%					60%					60%			
	40%					40%					40%					40%			
	20%					20%					20%					20%			

表-5 トンネル外径φ4,500mmの変形ならびに応力度照査結果

MC					SC					LS					HC				
MC10m					SC10m					LS10m					HC10m				
せん断ばね					せん断ばね					せん断ばね					せん断ばね				
	100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%
回転ばね	100%					100%					100%					100%			
	80%					80%					80%					80%			
	60%					60%					60%					60%			
	40%					40%					40%					40%			
	20%					20%					20%					20%			

MC20m					SC20m					LS20m					HC20m				
せん断ばね					せん断ばね					せん断ばね					せん断ばね				
	100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%
回転ばね	100%					100%					100%					100%			
	80%					80%					80%					80%			
	60%					60%					60%					60%			
	40%					40%					40%					40%			
	20%					20%					20%					20%			

MC30m					SC30m					LS30m					HC30m				
せん断ばね					せん断ばね					せん断ばね					せん断ばね				
	100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%		100%	30%	10%	1%
回転ばね	100%					100%					100%					100%			
	80%					80%					80%					80%			
	60%					60%					60%					60%			
	40%					40%					40%					40%			
	20%					20%					20%					20%			

以下に結果の考察を示す。

a) トンネル外径φ2,600mmの場合

- ・ 応力度により不適となるケースは無く、一部のケースにおいて変形照査にて不適となるケースが存在する。
- ・ 硬い粘性土HCの場合は全ての継手の組み合わせが適用可能である。
- ・ その他の地盤ではせん断ばね定数が10%以上の継手を使用すれば不適となるケースは無い。変形照査で不適となる場合、回転ばね定数を1ランク上げるよりもせん断ばね定数を1ランク上げる方が効果的である。これは変形照査が多くの場合、目違い量で不適となることに起因する。

b) トンネル外径φ4,500mmの場合

- ・ φ2,600mmの場合と同様に、硬い粘性土HCの場合は全ての継手の組み合わせが適用可能である。
- ・ その他の地盤では土被りが10mの場合、せん断ばね定数が10%以上の継手を使用すれば不適となるケースは無い。
- ・ しかし20m・30mと土水圧が大きくなると、応力度の面から回転ばね定数が60%以下の継手は適用が難しくなる。
- ・ また同様に土被りが20m・30mの場合は変形照査の面からせん断ばね定数が10%以下の継手は適用が難しくなる。
- ・ また緩い砂質土LSの場合は土水分離で設計しているため、土水一体で設計しているMCやSCに比べ適用可能な継手が多い。
- ・ φ2,600mmと比較して、断面が大きくなることによって新型継手の適用範囲は狭まる。

6. まとめ

本研究は新型継手の発注設計への適用に向けて、新型継手の剛性評価やパラメータ解析を実施し、中小口径トンネルにおける適用範囲を明確にした。以下に本研究で得られた知見および課題を列記する。

- ① 中小口径トンネルで実績のある新型継手の剛性はボルト継手に比べて、回転ばね定数で約10～100%であり、せん断ばね定数で約1～30%の範囲にある。
- ② 新型継手採用によるばね定数低減の影響は、全断面圧縮に近い硬質粘性土においてはセグメント高さの増加が生じない。
- ③ また上記以外の地盤においては土被り10m程度の浅い深度であれば、せん断ばね定数がボルト継手と比較して10%以上の継手を使用すること

で、セグメント高さの増加を回避できる。

- ④ ②、③以外の条件において、剛性の低い継手を使用する場合は慎重な検討を要する。
- ⑤ 継手剛性低下の影響はトンネル断面が大きくなるほど顕著である。
- ⑥ 本研究で使用した変形照査の限界値は著者らが独自に設定した値であり、コストダウンを指向した新型継手の積極的な採用においては、技術的な検討を背景にこれを緩和することが必要である。この場合には継手部のずれ量に対する止水性能の確保やリング変形量に対する収容設備の機能確保を念頭に置く必要がある。

本研究の成果により、発注者は自身の要求品質やトンネル規模に応じた適用表を作成し、新設トンネルの計画条件により新型継手採用可否に関する目安をつけることができる。一方では既に詳細な継手剛性データを保有する施工会社やセグメントメーカーにおいても自身の保有技術の適用範囲を検討し、技術提案等に活用できる技術であると考える。

今後は実験による確認が困難な発注設計時において、継手の詳細な仕様決定を可能にするために、解析により継手の剛性を再現する技術への取組を実施する予定である。

参考文献

- 1) 土木工学社：セグメントの新技术，2002.2.
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書 シールド工法・同解説，2006.7.
- 3) ほぞ付きセグメント工法研究会：ほぞ付きセグメント工法 技術資料，1995.4.
- 4) (財)国土開発技術研究センター：建設技術審査証明事業（一般土木工法）報告書 コッター・クイックジョイントセグメント，2005.3.
- 5) 宮清，松原健太，中筋真紀，小林一博，土屋雅義：ワンプラス2セグメントの研究・開発，土木学会第57年次学術講演会，Ⅲ・194，pp.387-388，2002
- 6) 若林正憲，新子博，荒川淳二，森孝臣，秋田谷聡：ワンプラス継手（コーンコネクター）を用いたセグメントの設計，土木学会第54年次学術講演会，Ⅲ・B84，pp.168-169，1999.
- 7) 鈴木信夫，田内英二，横溝文行，岡本章司，染谷洋樹，岡山奨：楔式ピン継手の開発，土木学会第50年次学術講演会，Ⅲ・B674，pp.1348-1349，1995.9.
- 8) 石井昌次，金子研一，石田修，荒川陽三，川北潤：鋼管挿入式継手を用いたセグメントの大断面トンネルへの適用，トンネル工学研究論文・報告集第12巻，論文(12)，pp.85-92，2002.11.

- 9) 吉本正浩, 阿南健一, 大塚正博, 小泉淳: 地中送電用
シールドトンネルの性能規定と限界状態設計法による
照査, 土木学会論文集, No.764/III-67, pp.255-274, 2004.6.
- 10) 土木学会: トンネルへの限界状態設計法の適用 トン
ネルライブラリー第11号, 2005.8