

挿入締結型ジョイントを用いたセグメントリング間継手の開発

DEVELOPMENT OF LONGITUDINAL JOINT WHICH CAN BE CONCLUDED ONLY INSERTED

木村定雄¹⁾，矢郷隆浩¹⁾，射場康平¹⁾，槇島礼智²⁾，野田 朋貴²⁾

Sadao KIMURA, Takahiro YAGOH, Kohei IBA, Reichi MAKISHIMA, Tomoki NODA

We have developed RC segments (called "Simple Process Segment") which have new type structural joints. Simple Process Segment has a feature that joints are prepared inside the segment part and aren't exposed in the superficies out of the segment. For longitudinal joint, we adopt coupler which can be concluded only inserted in the direction of the tunnel axis.

We report on the examination result which was implemented to grasp the dynamics characteristic of coupler when using it as longitudinal joint.

Key Words : shield tunnel, RC segment, joint, design of segment

1. はじめに

近年、鉄道や電力洞道用のシールドトンネル建設では工事費の削減を図るため、これまで蛇行修正、化粧、継手金物の防食等を目的として施工されてきた二次覆工を省略するケースが増加してきている。二次覆工を省略する場合、これら二次覆工に求められてきた機能を維持することが重要であるが、中でも継手金物やボルトなどの金物が坑内に露出するため、これらの耐久性を確保することが特に重要になるものと考えられる。

そこで、これまでに筆者らは継手金物をセグメント部材の内部に設け、継手金物がセグメントの内外面に露出しない内面平滑セグメント（以下、シンプロセグメントと称す）の開発を進めてきている¹⁾。本報告はシンプロセグメントのリング継手に採用する挿入締結型ジョイント（以下、カプラ継手と称す）の力学的特性を把握するためにに行った種々の試験結果について述べたものである。

2. シンプロセグメントの概要

シンプロセグメントの概要を図-1に示す。このセグメントのセグメント継手には水平コッター継手を、またリング継手にはカプラ継手をそれぞれ採用している。水平コッター継手およびカプラ継手はともに継手金物がセグメント部材の内部に収められる。以下にそれぞれの継手の詳細について述べる。

(1) セグメント継手

セグメント継手には水平コッター継手を採用する。図-2は水平コッター継手の外観を示したものである。この継手は継手金物の長さや数が選定でき、また継手金物を断面の任意の位置に設けることができるため、適用土質や断面力算定から求まる正負の曲げモーメントの大きさに応じてセグメント設計上合理的な継手剛性を選定できる。

1) 佐藤工業（株）中央技術研究所 正会員

2) 日東工器（株）カプラ開発部

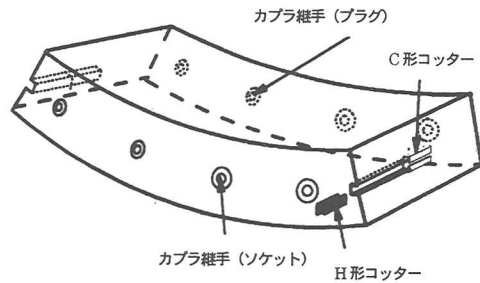


図-1 内面平滑セグメント（シンプロセグメント）

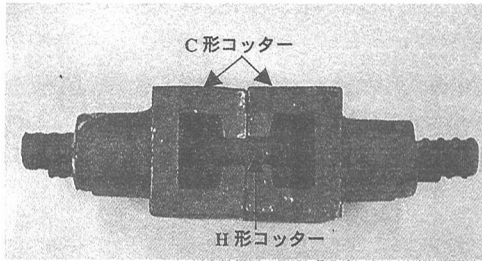


図-2 水平コッター継手

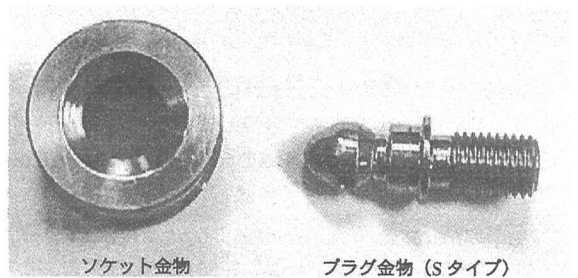


図-3 カブラ継手

さらに短ボルトタイプの継手と比べて、継手面に高い締結力を付与することができることから、目開きの抑制やシール材のシール溝への確実な封入が可能になる。この継手は切羽側に設けた金物挿入口から小型ジャッキ等を用いて、H形コッターを圧入して締結するものである。なお、水平コッター継手の基本的な力学特性についてはすでに報告している^{1) 2)}。

(2) リング継手

リング継手にはほぞ継手などの適用も考えられるが¹⁾、セグメント組み立ての省力化や自動化への適応性を向上する観点からカブラ継手を開発した。図-3はカブラ継手の外観を示したものである。

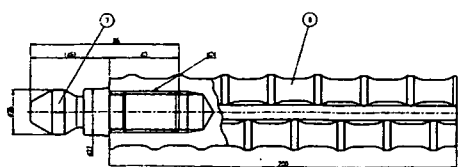
カブラ継手はソケットおよびプラグと称する凹金物および凸金物からなり、プラグをソケットに挿入するとソケット内部のチャックにプラグ頭部が噛込まれ締結する構造となっている。プラグには短いタイプ（以下、Sタイプと称す）と長いタイプ（以下、Lタイプと称す）の2種類があり、Lタイプはセグメントを組み立てる際に、ソケットとプラグのそれぞれの中心に2mmのずれを生じた場合にでもプラグが変形することで継手周辺のコンクリートおよび金物に過大な応力を生じさせずに締結することが可能な構造となっている。カブラ継手の詳細を図-4および図-5に、その材質を表-1に示す。なお、ソケットはアンカープレートにより、またプラグは異形鉄筋の付着によりコンクリート内に定着させる。

3. カブラ継手の構造性能

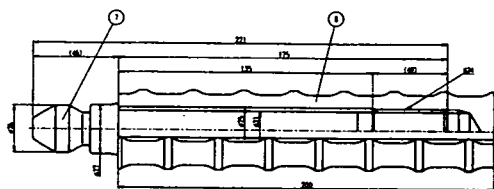
リング継手に求められる主な機能には、①セグメントリングの千鳥組によって生じるリング間せん断力の伝達、②トンネル軸方向に引張力が作用する場合の目開き防止、③シール材のシール溝への封入が挙げられる。そこでカブラ継手をリング継手として採用するにあたり、以下に示す各種の試験を実施した。

(1) 継手金物単体の引張試験

継手金物単体の引張耐力を把握するために引張試験を実施した。試験ケースの設定にあたっては実際のセグメ



(a) S タイプ



(b) L タイプ

図-4 カプラ継手（プラグ）

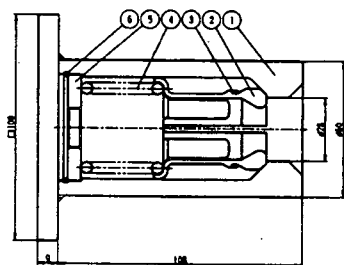


図-5 カプラ継手（ソケット）

表-1 カプラ継手使用材料

No.	名称	材質	降伏点（耐力） kgf/mm ²
①	ソケット本体	S25C	265
②	チャック	SUS431 相当	590
③	リング	SUS304	—
④	スプリング	SWP	—
⑤	プレート	SS400 相当	245
⑥	ストップリング	SUS304	—
⑦	プラグ本体	SCM435	785
⑧	アンカー鉄筋	SD345	345～440

表-2 S タイププラグを用いた場合の引張試験結果

目開き (mm)	引張抵抗力 (tf)	最大荷重発生時の 引抜き量 (mm)	引抜き形式
0.0	23.5	4.8	プラグ頭部の 破断
0.5	19.9	4.5	
1.0	18.1	4.0	チャックの変 形による引抜 け
1.5	13.4	4.4	
2.0	8.1	4.1	

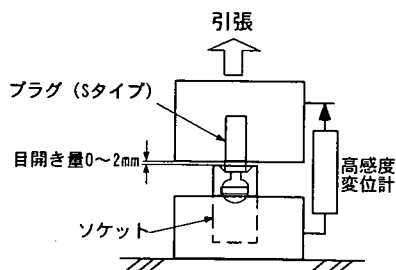


図-6 カプラ継手の単体引張試験概要

ントの組み立てを想定して、リング間に目開きが生じるケースやソケットとプラグの中心が 2mm ずれるケースを考慮し、それぞれの影響が調べられるものとした。

(a) 目開き量の影響

S タイプのプラグを用いた引張試験（図-6 参照）から、締結時に強制的に目開きを生じさせた時の基本的な引張強度特性を把握した。試験結果を表-2 に示す。

目開き量が増加するにしたがって引張抵抗力が減少することがわかる。最大荷重発生時の引抜き変位量（プラグとソケットの間隔の絶対値）は目開き量の影響を受けずに約 4mm となり、その後は徐々に引抜けてくる。引抜き形式は目開き量 1.0mm を境に異なり、目開き量 0.0, 0.5mm のケースではプラグ頭部の破断により、また目開き量 1.0mm 以上のケースではソケット内部のチャックが押し広げられることにより引抜ける。これは目開きが大きくなるとプラグがチャックに完全に噛込まないためと考えられる。一方、目開き量が 2.0mm のケースでも 8.1tf 程度と大きな引張抵抗力が確保できることがわかる。

(b) ソケットとプラグの中心に 2mm のずれがある場合の影響

L タイプのプラグを用いた引張試験（図-7 参照）から、締結時にソケットとプラグの中心に 2mm のずれがある時のプラグの押込み力、プラグに生じる応力および引張抵抗力を把握した。試験結果を表-3 に示す。なお、初期

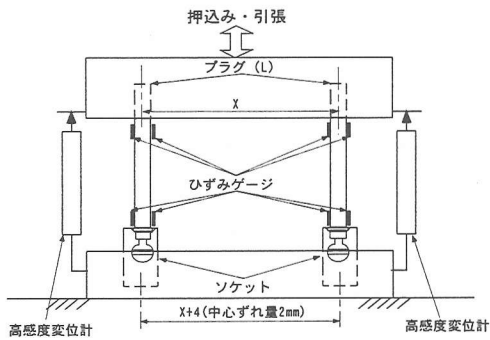


図-7 カブラ継手押込み・引張試験概要

表-3 Lタイププラグを用いた場合の押込み試験結果

	押込み力 (tf) ※	プラグの最大引張応力 (kgf/cm ²)
1 回目	0.2	2262
2 回目	0.1	2295

※プラグ1本あたりの値

表-4 Lタイププラグを用いた場合の引張試験結果

	引張抵抗※ (tf)	最大荷重発生時の引抜き量 (mm)	プラグの最大引張ひずみ (μ)	引抜き形式
1 回目	21.6	6.0	3983	プラグ頭部の破断
2 回目	21.8	6.8	4216	

※プラグ1本あたりの値

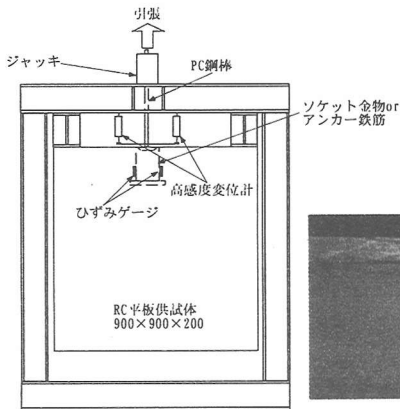
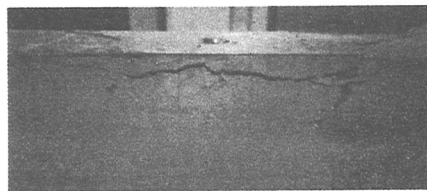


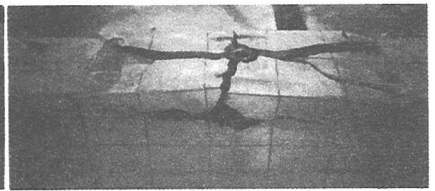
図-8 継手引抜き試験

表-5 リング継手の引抜き試験結果

	計算値	試験結果	
	引抜き耐力 (tf)	破壊荷重 (tf)	破壊形式
ソケット	12.6	18.0	円錐状の引抜け
プラグ (アンカー筋)	8.6	22.0	円錐状の引抜け



(a) ソケット



(b) プラグアンカー鉄筋

図-9 破壊状況

の目開き量は 0.0mm としている。

押込み荷重は若干のばらつきがあるもののその値は小さく、エレクターやシールドジャッキを用いてカブラ継手を締結することが十分に可能である。

また押込み時にプラグに生じる応力はプラグの材質 SCM435 の許容応力度 4700kgf/cm² よりも十分に小さいことがわかる。引張抵抗力は S タイプのプラグの引張試験結果に比べて約 8% 低下しているが、一般に中口径のシールドトンネルのリング継手として用いるボルトと同等以上の抵抗力を有している。最大荷重作用時の引抜き変位量の平均値は 6.4mm であり、S タイプの 4.8mm (目開き量 0mm のケース) より大きくなり金物自体の変形性能が増加していることが裏付けられた。また金物に生じる最大ひずみは降伏ひずみを越えているが、SCM435 の伸び能力は 15% と大きいため、破断する危険性はなく余剰の変形追従性を残しているものと考えられる。

(2) 継手金物の引抜き試験

リング継手としての引抜き耐力および破壊形式を把握するために、プラグを固定するアンカー鉄筋 (D41) およびソケットを RC 平板供試体 (900×900×200mm) 中に埋設してそれぞれの引抜き試験を実施した。試験の概要を図-8 に示す。RC 平板供試体の配筋は実際のセグメントを参考にして定めた (主筋 D13@150mm, 配力筋 D10@130mm, 主筋かぶり 40mm)。試験結果を表-5 に示す。

破壊荷重は両ケースともに計算上の耐力³⁾を上回っている。ソケットについては計算上金物底部から 45° の円錐状の破壊面が形成されることを仮定しているのに対し、実際には破壊面となる円錐の角度は 83° と大きくなったためと考えられる。図-9 は最終の破壊状況を示したものである。

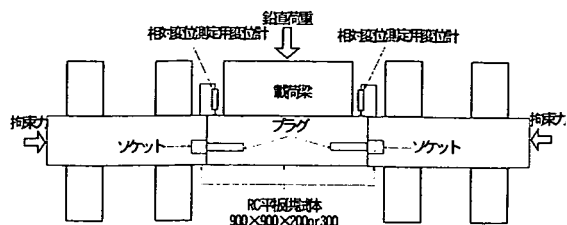


図-10 継手せん断試験概要

表-6 試験ケース

ケース	供試体継手面※	補強筋	導入拘束力
①	200 カブラ継手	無	5tf (破壊試験) 10tf (弾性試験) 25tf (弾性試験)
②	200 カブラ継手	有	
③	200 カブラ継手	無	
④	200 カブラ継手	有	
⑤	300 カブラ継手	無	
⑥	300 カブラ継手	有	

※ 補強筋

表-7 せん断耐力と破壊形式

ケース	計算値	試験結果	
	耐力 (tf)	破壊荷重 (tf)	破壊形式
①	8.8	16.9	プラグ上部コンクリート押抜き破壊
②	(8.8)	15.8	ソケット下部コンクリート押抜き破壊
③	5.6	12.1	プラグ上部コンクリート押抜き破壊
④	(5.6)	18.6	ソケット下部コンクリート押抜き破壊
⑤	16.6	29.2	プラグ上部コンクリート押抜き破壊
⑥	(16.6)	27.3	ソケット下部コンクリート押抜き破壊

() 補強筋の検討方法は示されていないため参考値

表-8 せん断ばね定数

ケース	せん断ばね定数 (tf/m)		
	ks1	ks2	ks3
①	35000	4400	900
②	15800	3600	900
③	17400	4200	900
④	7900	5100	900
⑤	39600	5800	1200
⑥	33100	5000	800

また同時に金物に生じるひずみの計測を行っており、計測されたひずみから換算したソケットおよびプラグのアンカー鉄筋に生じる応力は、それぞれ最大 1410kgf/cm^2 および 1660kgf/cm^2 となり許容応力度を下回っている。

(3) リング継手せん断試験

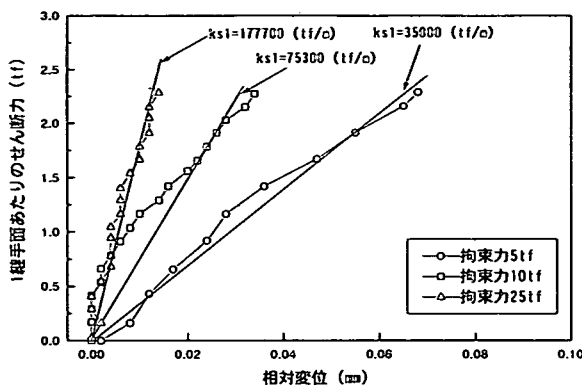
カブラ継手のせん断耐力、破壊形式およびせん断力が作用した時のずれに対する見かけの剛性（せん断ばね定数）を把握するために継手せん断試験（2面せん断試験）を実施した。供試体は $900 \times 900 \times 200\text{mm}$ および $900 \times 900 \times 300\text{mm}$ の RC 平板形とし、セグメント厚さ、継手位置およびせん断補強筋の有無を変えた 6 種類の供試体を用いて試験した。またジャッキ推力が残存することによる影響を想定し、拘束力の大きさを変えた試験とした。図-10 および表-6 は試験の概要および試験ケースを示したものである。

(a) せん断耐力および破壊形式

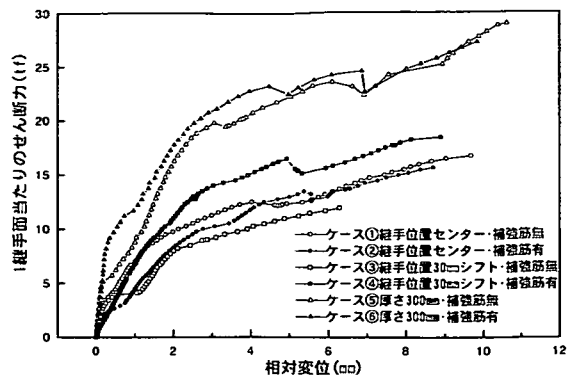
せん断耐力および破壊形式に関する試験結果を表-7 に示す。破壊荷重はすべてのケースで計算上のせん断耐力よりも大きくなった。破壊形式はすべてのケースともに金物上部もしくは下部コンクリートの押抜き破壊であり、金物本体が破壊することはなかった。このため、セグメント厚さの大きいケース⑤および⑥が他のケースと比べて耐力が大きくなっている。ケース①と②および⑤と⑥とを比較すると補強筋の有無による影響は認められないが、ケース③と④とを比較すると補強筋の効果によって耐力の増加が見られる。これは補強筋の配置方法による差であると考えられる（補強筋の配置については表-6 参照）。

(b) 拘束力のせん断ばね定数に対する影響

継手のせん断ばね定数に対する拘束力の影響を確認した。ケース①において拘束力を変化させた場合の 1 継手面あたりのせん断力と相対変位量との関係を図-11 (a) に示す。拘束力の増加により継手の見かけの剛性が増加することがわかる。これは拘束力による継手面の摩擦力が大きくなるためであると考えられる。



a) 拘束力の影響 (ケース①)



b) セグメント厚さの影響 (拘束力 5tf)

図-11 1 継手面あたりのせん断力と相対変位量の関係

(c) セグメント厚のせん断ばね定数に対する影響

せん断ばね定数は、1 継手面あたりのせん断力と相対変位量の関係から、①拘束力によって生じる継手面どうしの摩擦力によりすべりが生じない領域 (ks_1)、②せん断力が摩擦力を上回りすべりを生じる領域 (ks_2)、③継手部周辺のコンクリートが破壊して目違い量が急増する領域 (ks_3) の 3 つの領域に分けられ、それぞれの領域でせん断ばね定数を求めた。図-11 (b) および表-8 はその結果を示したものである。セグメント厚 300mm のケース⑤、⑥とセグメント厚 200mm のケース①、②とを比較すると、セグメント厚の大きい方が ks_1 および ks_2 とも大きくなっている。一方、 ks_3 はセグメント厚や継手位置に関わらずほぼ等しい。これは ks_1 と ks_2 は拘束力によって生じる継手面の摩擦力の大きさに起因して定まるためと考えられる。

4. おわりに

各種の試験を行い、リング継手としてのカブラ継手の力学的特性を調べた。以下に知見を述べる。

- ①カブラ継手単体の引張抵抗力は目違い量を抑制することによりボルトの引張耐力と同等以上となる。
- ②コンクリート中に埋設されたカブラ継手の引抜き耐力はボルトの引張耐力と同程度である。
- ③リング継手としてのせん断耐力はセグメント厚、継手位置および補強筋の配置方法により変化する。
- ④設計時に必要となる継手のせん断ばね定数は作用せん断力の大きさにより 3 つの領域に分けて考えることができる。また、せん断ばね定数は拘束力やセグメント厚などの影響を受ける。

最後に、本開発を進めるにあたり早稲田大学 小泉淳教授より御指導を頂いた。ここに謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 岩藤, 市野, 吉成, 木村, 原園: 内面平滑セグメントの構造性能, トンネル工学研究論文・報告集, Vol.6, 論文 (7), 1996.11.
- 2) 市野, 倉木, 木村, 田上, 中島: 軸方向挿入型直線くさび継手の曲げ性能および止水性能について, トンネル工学研究論文・報告集, Vol.7, 報告 (49), 1997.11.
- 3) 後打ちアンカーの設計・施工に関する技術資料, 首都高速道路公団, 1994.8