

締結力が導入可能で内面平滑なセグメントの開発

DEVELOPMENT OF A SEGMENT WITH SMOOTH INNER SURFACE WHICH CAN PROVIDE THE PRIMARY TENSILE FORCE

千代啓三¹⁾・田代 昇²⁾・岡本達也¹⁾・木戸義和¹⁾

Keizo CHISHIRO, Noboru TASHIRO, Tatsuya OKAMOTO and Yoshikazu KIDO

One way to reduce the cost and duration of shield tunneling work is to eliminate the process of secondary lining. Despite various attempts, however, practical effective joints are not yet widely used. To develop an "Auto-Chuck segment" that can provide the primary tensile force, offers mechanical properties and high-speed assembly equivalent to conventional bolted joints, and contains all the joint members inside, the authors studied the strength performance of joint sections.

Keywords: Auto-Chuck segment, elimination of secondary lining, smooth inner surface, primary tensile force

1. はじめに

近年、土木工事のコストダウンが求められており、シールド工事においてもシールド掘進の高速化、長距離化、非円形断面の掘削といった様々な試みがなされている。筆者らは、コストダウンの方法として二次覆工の省略に注目し、オートチャックセグメントを開発した^{1), 2), 3)}。二次覆工の省略は、二次覆工の工費、工期だけでなく、シールドの掘削断面積の縮小によるコスト削減効果を有する。

シールドトンネルにおける二次覆工の目的は、継手等の金属部分の防食・止水性の向上・トンネル内面の粗度の低減・蛇行の修正・内装等である。オートチャックセグメントは、これらのうち蛇行修正以外の目的を満足することを開発目標とした。このため、

- ①ボルトボックス等の表面欠損部がなく内面が平滑となる。
 - ②継手部材がトンネル内面に露出せず、金属部が腐食されない。
 - ③継手が従来の継手と同程度の強度や剛性を有し、継手部の止水性や組立精度を確保できる。
- という特長を有している。

また、オートチャックセグメントは次のような特長を有しており、高速組立にも効果がある。

- ④継手締結部材が全て内蔵されており、ボルトのような後付の締結部材や締結のための工具が不要である。
- ⑤シールドジャッキを伸ばすことで、セグメント継手とリング継手が同時に締結できる。

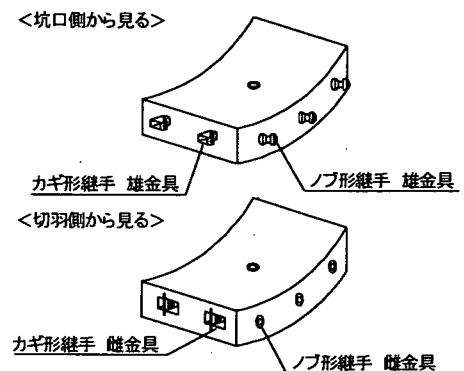


図-1 オートチャックセグメント概要図

2. セグメントの概要

オートチャックセグメントは、図-1のようにセグメント継手にカギ形継手、リング継手にノブ形継手を

1)正会員 (株) 熊谷組土木事業本部土木技術部

2)正会員 (株) 熊谷組土木事業本部土木技術推進部

有したコンクリート系セグメントである。各継手の構成と特長は下記のとおりである。

2. 1 カギ形継手（セグメント継手）の構成と特長

カギ形継手の断面模式図を図-2に示す。カギ形継手は、フック状の金物がセグメント継手面から突出した雄金具と、箱抜き部内に設置され挿入口を有する板状の雌金具より構成される。組立時は、雄金具先端が箱抜き内に入るように雄金具側と雌金具側のセグメント面を合わせ、シールドジャッキで押し込むことで継手が締結できる。雌金具には板ばねが溶接固定されており、雄金具の挿入に伴い、板ばねが塑性変形し、雄金具側のセグメントを雌金具側のセグメントに引き寄せる力（初期締結力）が導入できる。この初期締結力により継手部の止水性や組立時の真円度の確保が可能となる。

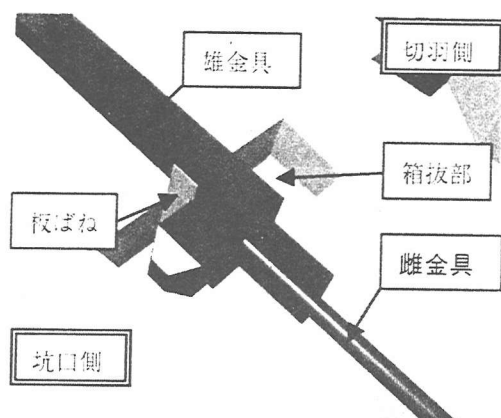


図-2 カギ形継手断面模式図

2. 2 ノブ形継手（リング継手）の構成と特長

ノブ形継手の断面模式図を図-3に示す。ノブ形継手は、ドアのノブのような形状の突起がリング継手面から突設している雄金具と、雄金具が挿入される円筒部を有し、金具全体がセグメントに埋め込まれた雌金具から構成される。雄金具には、先端から膨大部、縮径部、軸部に分けられ、雌金具に内蔵した4個の爪が膨大部に当たり、爪の背後のばねを押し縮めて膨大部に乗り上げた後、縮径部に爪が落ちこむことにより締結される。この4個の爪のうち向かい合う2組の爪は若干トンネル軸方向にずらして取り付けられている。これは、組立時に目開きが生じてもどちらか1組の爪が掛かった状態にするため、このため、継手の引張力に対し2個の爪で抵抗できるような設計思想としている。

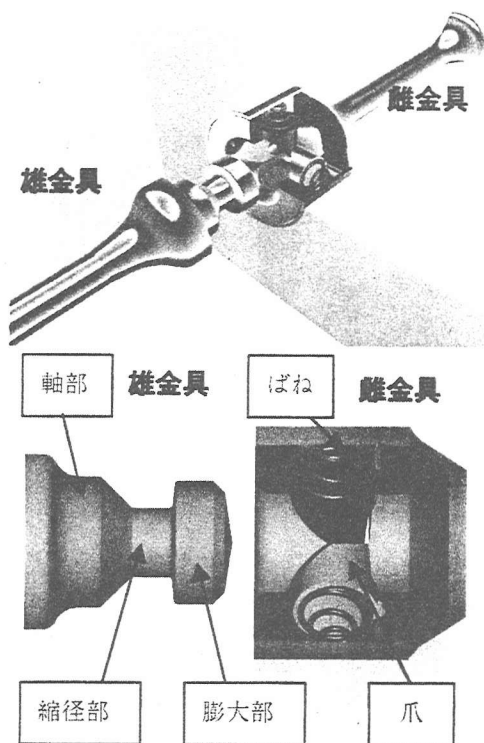


図-3 ノブ形継手断面模式図

3. 継手の開発実験

3. 1 実験の概要

継手の開発のため、継手部材の材質や形状、寸法を決定するための要素実験と、継手の強度、剛性を確認するための性能実験を行った。ここでは、カギ形継手に対し要素実験として行った雄雌金物挿入実験、性能実験として行った継手挿入実験と継手曲げ実験について報告する。また、ノブ形継手の要素実験である継手部挿入実験と、性能実験である継手引張実験について報告する。

実験には、外径 4800mm、桁高 200mm、幅 1000mm の場合を検討対象に選び、継手挿入実験と継手曲げ実験に対しては実際にセグメントピースを作成した。実験対象としたセグメントの諸元を表-1に示す。

3. 2 カギ形継手の開発実験

実験に使用したカギ形継手の詳細寸法を図-4に示す。

表－１ 実験条件一覧

	項目		単位	仕様
	外径×折高×幅		mm	4,800×200×1,000
カギ形継手	主断面抵抗モーメント*		kN・m	22.3
	継手の配置			1段で幅方向に2ヶ所
	継手の強度・剛性			M22(8.8)と同等以上
	材質	雄金具		FCD500
		雌金具 本体		SM490A
		雌金具 板ばね		SS400
		雌金具 アンカー部		SD295A
ノブ形継手	継手の強度・剛性			M22(8.8)と同等以上
	材質	雄金具		SCM440
		雌金具 本体		SCM440
		雌金具 爪		SCM440
		雌金具 円錐ばね		SUP9

* 圧縮側コンクリート、鉄筋がそれぞれ許容応力度に達するときの曲げモーメントのうち小さい方の値

(1) 雄雌金具挿入実験

雄雌金具挿入実験は、雌金具に取り付ける板ばねの構造を決定することを目的に行った。継手部の目標止水圧を 0.2N/mm^2 に設定し、シール材の圧縮特性から継手1ヶ所あたりに必要な締結力は 15kN であるとした。実験は、雄金具と雌金具の一部要素のみを取り出した図－5のような装置を用い、矢印の方向に押し込む方法で実施した。挿入力は雄金具供試体の後方の荷重計で、締結力は雄金具供試体の下面に取り付けた荷重計で検出した。

実験は、板ばね厚が 3.2mm と 4.5mm の場合、また、板ばねに 2mm の折り曲げがある場合とない場合（図－5 A部詳細を参照）の計4パターンについて行った。この結果を図－6と表－2に示す。これにより、折り曲げ量の有無は導入できる締結力の最大値には影響を与えないこと、また、板厚が 4.5mm になると締結力が 17kN となり、目標の締結力 15kN を上回ることが明らかになった。このため、板ばねの形状寸法として板厚が 4.5mm で折り曲げ量のないものを選定した。

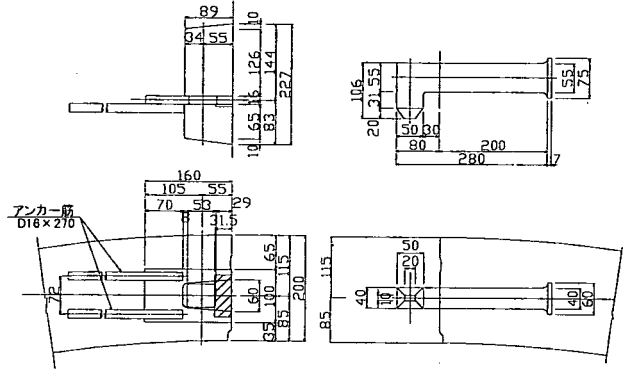
(2) 継手挿入実験

実際のセグメントを用いた時の継手の締結力と必要な挿入力を確認するため、図－7のように雄金具側のセグメントを荷重計をつけたジャッキで押し上げる方法で実験を行った。セグメント挿入によるシール材への影響を確認するため、セグメントにはシール材を張り付けた。挿入量と締結力と挿入力の関係を図－8に示す。ただし、締結力は、雄金具に取り付けたひずみゲージより算定した継手2ヶ所の合計の値であり、挿入力は3ヶ所の挿入ジャッキに取り付けた荷重計の合計の値を示している。

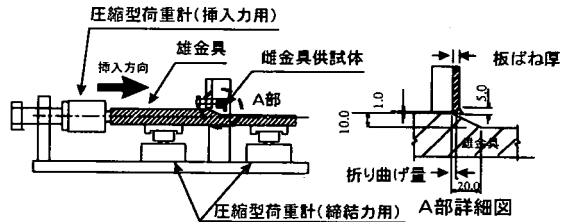
締結力は、実験を開始してから挿入量 20mm までに約 40kN となった。挿入開始から 20mm までの範囲では、順調に挿入されれば、雄金具と雌金具は幾何学的に接触しない。した

カギ形継手雌金具

カギ形継手雄金具



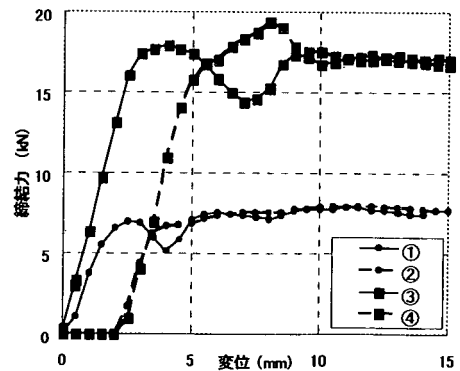
図－４ カギ形継手寸法図



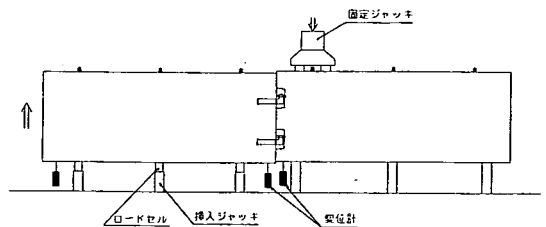
図－５ 雄雌金具挿入実験装置図

表－２ 雄雌金具挿入実験の条件と結果

	板ばね厚 (mm)	折り曲げ量 (mm)	最大挿入力 (kN)	最終締結力 (kN/1ヶ所)
①	3.2	0	7.18	7.40
②		2	6.14	7.60
③	4.5	0	15.94	17.00
④		2	11.95	16.70



図－６ 雄雌金具挿入実験結果



図－７ 継手挿入実験装置図

がって、この範囲では雄金具が雌金具にせりながら挿入されていると考えられる。挿入量 20mm 以上で締結力が再度増加している。挿入量 20mm までは締結力の増加に伴って挿入力も増加しているが、20mm 以降では締結力の増加にもかかわらず挿入力が増加していない。このことから 20mm 以降の締結力の増加は板ばねの変形によるものと考えられる。挿入量 20mm 以降の締結力の増加量は約 30kN であり雄雌金具挿入実験の結果である 1 継手あたりの締結力約 17kN とほぼ一致している。また、継手締結に必要な挿入力は約 53kN でありシールドジャッキでの挿入には支障のない値であった。

継手の締結に伴うシール材のはがれやずれは確認できず、今回の実験ではシール材への影響はなかった。

(3) 継手曲げ実験

図-9 のような 2 点载荷、両端支点が可動という条件で継手曲げ実験を行った。継手曲げ実験は、継手の回転ばね定数を算出し、継手の剛性を確認することを目的に実施した。比較のため、セグメントの諸元が同じで従来のボルト継手 M22(8.8)のセグメントについても同様の実験を行った。

図-10 に継手に作用した曲げモーメントと継手回転角の関係を示す。実線で示されたカギ形継手のグラフは、その傾きから領域 I ($M=0\sim10.74\text{kN}\cdot\text{m}$)、領域 II ($M=10.74\sim21.34\text{kN}\cdot\text{m}$)、領域 III ($M=21.34\text{kN}\cdot\text{m}\sim$) に分けられる。図-10 中の表は、領域 I と II のグラフの傾き (回転ばね定数) の値である。継手の所要抵抗モーメント (セグメント主断面の抵抗モーメント $22.3\text{kN}\cdot\text{m}\times60\%=13.4\text{kN}\cdot\text{m}$) 以下の範囲とほぼ一致する領域 I では、カギ形継手は従来継手よりも高い回転ばね定数を有しており、設計レベルではより大きな曲げ剛性を有していると言える。

図-11 は継手に作用した曲げモーメントと雄金具と雌金具に発生した軸引張力の関係を示している。図中の直線は、継手に初期締結力がない場合に曲げモーメントが作用したときの継手の軸引張力を計算したものである。グラフから分かるように、領域 I では、金具の軸力は約 10kN でほとんど変わっていない。このことは、領域 I において、継手金具に発生した軸力が初期締結力以下であり、継手面が離間に到っていないことを意味している。このことは、領域 I において、カギ形継手が従来継手に比べ高い曲げ剛性を有している大きな要因と考えられる。

図-12 に、継手に作用した曲げモーメントと継手金具の各箇所のひずみの関係を示す。ひずみは、雄金具の首元、雌金具の頂部、本体、アンカーの 4 ケ所で計測している。雄金具首元は、内側のひずみが最も大きくなるため、この値を代表値として計測した。継手の許容曲げモーメント $13.4\text{kN}\cdot\text{m}$ までは各部とも許容応力以下であるが $20\text{kN}\cdot\text{m}$ 付近で雌金具頂部が許容応力 ($215\text{N}/\text{mm}^2$) に達する。雌金具頂部は梁構造であることから変形も大きく、継手の変形に与える影響も大きくなる。このことが領域 II 以降で回転ばね定数が低下している要因の一つと考えられる。

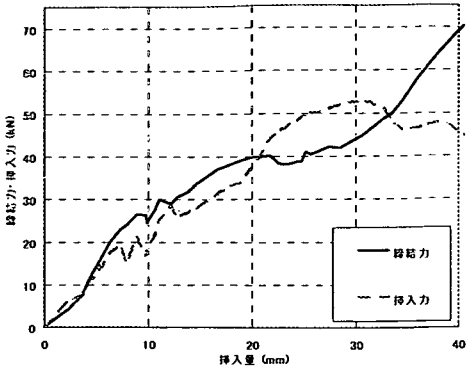


図-8 カギ形継手挿入実験結果

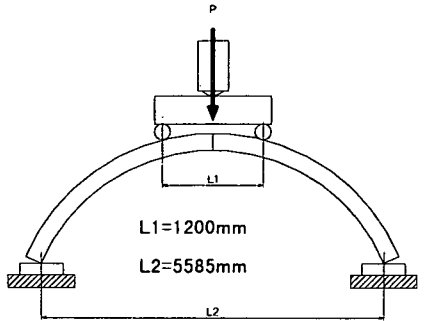


図-9 継手曲げ実験装置図

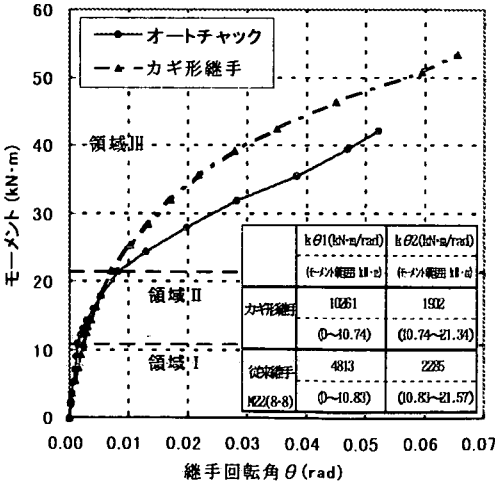


図-10 曲げモーメントと継手回転角の関係

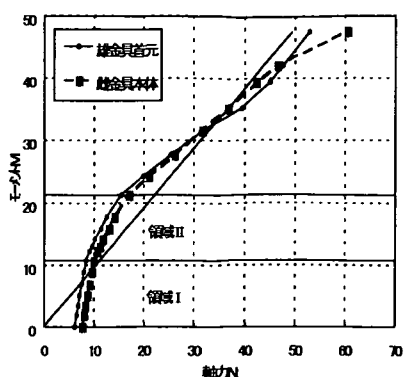


図-11 曲げモーメントと金具軸力の関係

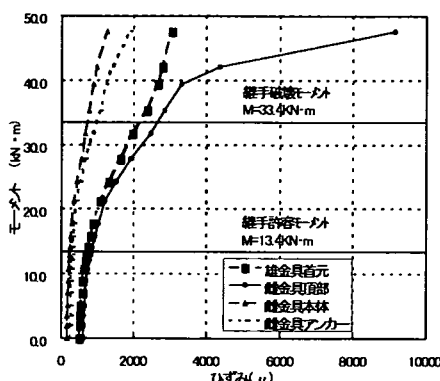
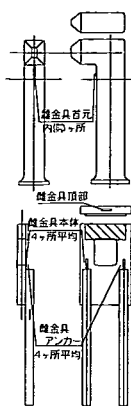


図-12 曲げモーメントと金具ひずみの関係



また、雄金具首元のひずみの変化から曲げモーメント $22\text{kN}\cdot\text{m}$ で許容応力 ($190\text{N}/\text{mm}^2$) に達することがわかる。しかし、内側のひずみは、曲げによる影響があり、金具全体としては降伏しておらず、作用する曲げモーメントが大きくなってもひずみは極端に大きくならない。

3. 3ノブ形継手の開発実験

実験に使用したノブ形継手の詳細寸法を図-13に示す。

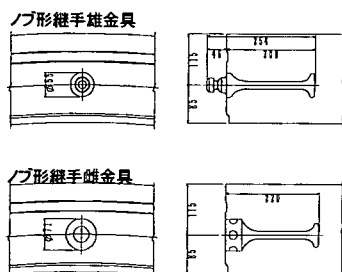


図-13 ノブ形継手金具詳細図

(1) 継手部押載荷実験

ノブ形継手は、継手締結後、軸引張力が発生すると図-14(a)のような状態になるが、継手部押載荷実験は、図-14(b)のように爪を雄金具供試体で上部から載荷する方法で行った。ノブ形継手雌金具の爪の形状と雌金具本体の材質を決定するため、爪の掛かり代を 6mm 、 10mm 、 20mm の3パターン、雌金具本体の材質をクロムモリブデン鋼 SCM440 とオーステンパ球状黒鉛鋳鉄 FCAD900 の2パターン、計5パターンの実験を行った。

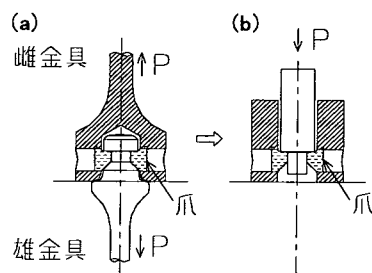


図-14 継手部押載荷実験装置

表-3 継手部押載荷実験

			
SCM440クロムモリブデン鋼々材	異常なし (SCM440-6)	異常なし (SCM440-10)	
FCAD900オーステンパ球状黒鉛鋳鉄	9ヶ所、爪転倒 (FCAD900-10)	異常なし (FCAD900-10)	異常なし (FCAD900-20)

実験結果を表-3と図-15に示す。これによると、雌金具本体の材質がFCAD900で掛かり代が 6mm の場合は爪が転倒したが、それを除いて、破壊に到ることは無く、設計荷重である 88kN の時の変位量は 0.4mm 以下で、シール材の弾性特性から考えて、止水上的問題ない。そこで、雌金具の大きさが最も小さくなり、設計的に、また、経済的に最も有利である爪の掛かり代 6mm 、雌金具本体材質クロムモリブデン鋼 SCM440 の場合を採用することとした。

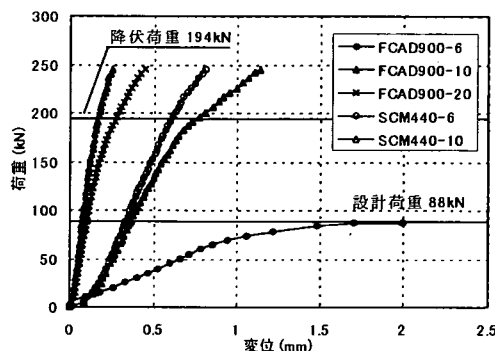


図-15 継手部押載荷実験結果

(2) 継手引張実験

継手部押載荷実験の結果採用された継手を使い、図-16のような装置で継手引張実験を行った。実験は雄金具と雌金具の両方について行い、それぞれ破壊するまで載荷した。

実験結果を表-4と図-17に示す。図-17は、PC鋼棒の根元で計測した変位と軸引張荷重の関係を示している。グラフより分かるように雄金具、雌金具に大きな差異は認められない。また、許容引張荷重である88kNでは、変位量は0.5mm程度であり止水性能には問題ない。破壊は、軸引張力が280kN付近の時に

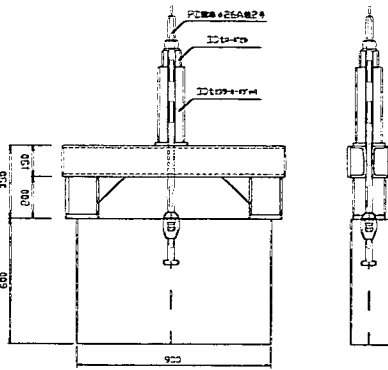


図-16 ノブ形継手引張実験装置図

生じ、継手が埋め込まれたコンクリートが引き抜きによりコーン状に破壊した。

4. まとめ

本実験では、セグメント外径4800mm、桁高200mm、幅1000mmの場合を対象に、継手の材質、形状、寸法を決定し、継手の性能を確認した。以下に、今回の実験で明らかになった点をまとめる。

- ①カギ形継手の雌金具に取り付けた4.5mmのばねにより、目標とした初期締結力(15kN/1継手)が導入できることが明らかになった。また、締結力は、板ばねの厚さに依存しており、板ばねの折り曲げ量は締結力には影響しない。
- ②カギ形継手の挿入に必要な挿入力は53kNであり、シールドジャッキで容易に組立が可能である。
- ③継手曲げ実験により、カギ形継手は設計レベルにおいて従来のボルト継手に比べ、同等以上の曲げ剛性を有していることがわかった。また、初期締結力導入が高い曲げ剛性を得るための要因の一つとなっていることが明らかになった。
- ④ノブ形継手の所要引張力を得るために必要な爪の形状、寸法、雌金具本体の材質等を決定し、所要の引張力を得ることができると明らかになった。

今後は、オートチャックセグメントの適用可能な径の検討や内水圧や大きな土水圧が作用するきびしい条件のトンネルへの適用範囲について検討を進める必要がある。また、いくつかのケースについて検討を行い、標準的な仕様を決定していく所存である。

謝辞

本研究は、ジオスター株式会社と共同で行った。ここに関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 岡本 他:締結力を有する内面平滑セグメント(オートチャックセグメント)の開発(その1)セグメント継手(カギ形継手)の挿入実験,土木学会第54回年次講演会,III-B,PP152-153,1999,9
- 2) 千代 他:締結力を有する内面平滑セグメント(オートチャックセグメント)の開発(その2)セグメント継手(カギ形継手)の曲げ実験,土木学会第54回年次講演会,III-B,PP154-155,1999,9
- 3) 大長 他:締結力を有する内面平滑セグメント(オートチャックセグメント)の開発(その3)リング継手(ノブ形継手)の性能実験,土木学会第54回年次講演会,III-B,PP156-157,1999,9

表-4 ノブ形継手引張実験結果

実験の種類 諸 量	引 張 実 験	
	雄金物	雌金物
初亀裂発生荷重(kN)	93	113
破壊荷重(kN)	277	282
目標値(kN)	194	

注) 目標値: ボルトM22(8-8)の降伏荷重
引張: $303\text{mm}^2 \times 640\text{N/mm}^2 = 194\text{kN}$

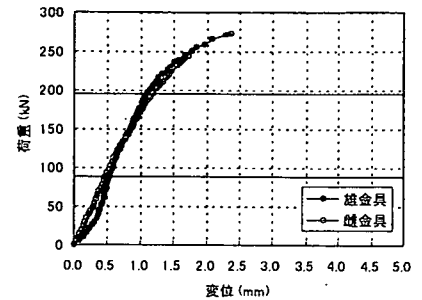


図-17 ノブ形継手引張実験結果