

自動化対応・急速施工用セグメントの開発と施工

～ネジ締結式ピン継手セグメント～

DEVELOPMENT OF SCREW-PIN JOINT FOR SHIELD SEGMENT

祝田隆敏*・中山哲夫**・阿部茂木**・佐藤 正***・山森規安***

Takatoshi IWAIDA, Tetsuo NAKAYAMA and Shigeki ABE, Tadashi SATOH, Noriyasu YAMAMORI

Shield segment tunneling is the primary method of urban area tunneling. Demand is high for improvements in efficiency, quality and cost-performance of the segment erection work. This is because segment erection work is a critical element of cycle time. In order to meet these demands, the authors have developed a new and efficient ring joint, named "Screw-Pin Joint". This joint method can be easily used applying manual or automatic segment erection systems. We have also tried to apply this joint method to reinforced concrete (RC) segments. The first practical example is at the KOZUKUE-CHIWAKA-USUIKANSEN waste water tunnel; Erection time has been suully redeuced by 20-40% and ring deflection has been reduced to less than one third of that abserved on the previous joints.

KEYWORDS : *Segment, Ring joint, Self election, Rapid execution*

1. まえがき

近年、大都市における都市機能の高度化に伴い、地下空間の有効活用が重要視されるようになってきており、その地下空間築造工法の一翼を担うシールド工法も、大口径化・大深度化・長距離化などに対応すべく、さまざまな技術開発が進められている。そのなかでも、生産性・安全性の向上、作業環境の改善をはかるうえで、セグメントの自動組立の開発が強く望まれており、現在までにさまざまな自動組立への対応が進められてきている。

しかしながら、従来多用されているボルト・ナット式継手をそのまま使用したのでは、組立速度の向上に関して十分な成果をあげるまでには至っていない。そこで、より組立効率、施工品質に優れ、自動組立にも容易に対応可能なセグメントリング継手として、ネジ締結式ピン継手を開発、実用化した。

本報では、この継手の開発実験、およびこの継手を用いた鉄筋コンクリート(RC)セグメントの実施工適用により、本継手の有用性が確認できたため、ここに報告する。

* 横浜市下水道局
** (株)熊谷組 横浜支店
*** 正会員 (株)熊谷組 技術開発本部

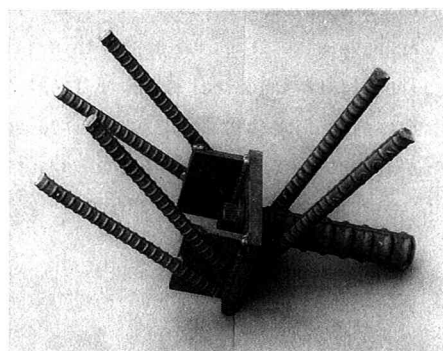
2. ネジ締結式ピン継手

従来から多用されているセグメントのリング継手として、ボルト・ナット式やチャック・ピン式継手などが挙げられる。

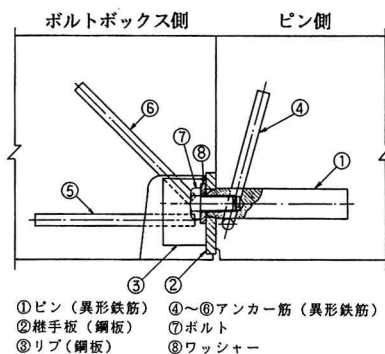
ボルト・ナット式継手は、強固な締付け力が得られる反面、孔芯不一致の状態ではボルトを挿入し締めつけた場合、本来の締結力、継手剛性が得られず、止水機能の低下やセグメントリングの変形過大に伴う施工性の悪化などが生じ、自動組立を導入しても、施工速度の向上があまり期待できない。

また、チャック・ピン式継手では、ピンが自己調芯作用を有しているため、結合が容易であり、自動組立に適した継手構造であるが、結合力が弱いため、止水性に問題があり、採用できる地盤が良質地盤に限定される。

今回開発したネジ締結式ピン継手は、図－１および写真－１に示すように、袋ネジの異形鉄筋にアンカー筋を溶接した先細りのピンと、従来のボルト・ナット式継手のボルトボックスからなり、強固な締付け力の得られるボルト・ナット式と組立施工性の良いピン式のそれぞれの利点を取り入れた、新しい方式のリング継手であり、この継手を使用することにより、セグメントの組立効率、覆工の品質などが飛躍的に向上するものと思われる。表－１に従来のリング継手との比較評価を示す。



写真－１ ネジ締結式ピン継手



図－１ 継手概要図

表－１ ネジ締結式ピン継手と従来継手の性能比較表

項 目	ネジ締結式ピン継手	ボルト・ナット式継手	ピン方式継手
セグメントの組立施工性	・ピン方式なので穴芯合わせが容易。 ・共回りしないので締結作業性が良い。	・調芯が難しく、時間がかかる。 ・共回り防止が必要である。	・穴芯合わせが容易。 ・ボルトの締め付けがないので組立効率が良い。
施工安全性	・ピン方式で自動調芯されるため、人手による芯合わせが不要となり安全性が高い。	・調芯の際、作業員に手作業に伴い指詰めなどの危険がある。	・人手による芯合わせ、ボルト締め付け作業がなく、安全性が高い。
セグメントの止水性	・ピンは一方のセグメントに固定されて引張剛性が大きく、目開きは他方式に比べ少ない。	・ボルト・ナットによる締め付けのため強固な締め付けが可能で一般に止水性は良い。	・締結力がないので、目開きし易く止水性が低い。
セグメントの変形・組立精度	・ピン径がボルト径より大きく、しかもピンは固定されているため、セグメントリングの目違い、変形が希少、組立精度が良い。	・締結が不十分な場合、本来の継手剛性が得られず、テール脱出後に目ずれを起こし易く、セグメントの組立施工性が低下する。	・ピンと穴のクリアランスが比較的大きく目ずれが起き易い。
自動組立への適用性	・自動調芯されるため、位置決め機構が単純化できる。 ・ナットがないので、ボルト・ナット式継手に比べ締結機構が簡素化できる。	・セグメント位置決め、ボルト締結機構が複雑化・大型化する。	・位置決め機構が単純化できる。 ・ボルト締め付けがなく、自動化が容易。
総合評価	◎	○	○

3. 強度試験

一般にセグメントのリング継手には、トンネルの半径方向と円周方向にせん断力、曲線施工時の推進ジャッキの片押しにともなう引張力が作用する。したがって、これらの外力に対する強度性能を把握するために、継手せん断試験および継手引張試験を実施した。

3・1 継手せん断試験

リング継手は、トンネル半径方向の断面中心に向かうせん断力に対して最も弱い。したがって本試験では、この方向に対するネジ締結式ピン継手のせん断強度、剛性を把握するとともに、従来のボルト・ナット式継手との強度性能比較を行った。

試験体は、RCセグメントのリング継手部分を直方体のコンクリートブロックに置き換えたもので、ブロックの両端に、ネジ締結式ピン継手のピン側、ボルトボックス側の継手金物を配置したものを、それぞれ1体ずつ製作した。配筋は実際のセグメントと同等とし、継手金物のアンカー筋サイズおよび継手金物回りの構造は、あらかじめ予備試験を行い決定した。載荷は、200 t 万能試験機を使用し、載荷ビームを介してせん断力を与え、破壊まで載荷した。せん断試験の概要を図-2に示す。

各変位量の測定結果を図-3に示す。図中、ピン側の継手としてのせん断変形量は、継手鉛直変位量とピンの変位量の和として表してある。

ピン側は、せん断力が5 tf程度までの初期段階においては、継手鉛直変位量は極めて少なく、せん断変形量の大部分をピンの変位量、すなわち、ピンのつぶれによる変形量が占めていることがわかる。その後、荷重の増加とともに継手の鉛直変形量の占める割合が増加し、2.6 tf付近でピン下端のコンクリートにクラックが発生したのち、試験体の耐力上昇は徐々に低下し、破壊に至った。

ボルトボックス側の初期せん断剛性は、ピン側の約半分程度であるが、高荷重域での剛性低下は比較的少なく、ピン側と比較すると、ねばりのある性状を示している。両側とも、最終的には継手下部コンクリートのせん断破壊により耐力を失い、破壊荷重はほぼ同じ（約35 ton・f）であった。ボルトボックス側の初期せん断剛性は、ピン側の半分程度であるが、ネジ締結式ピン継手の一方は従来のボルト・ナット式継手と同じ構造であることから、継手1箇所当りのせん断剛性およびせん断強度は、従来継手と比較して、同等以上であると考えられる。

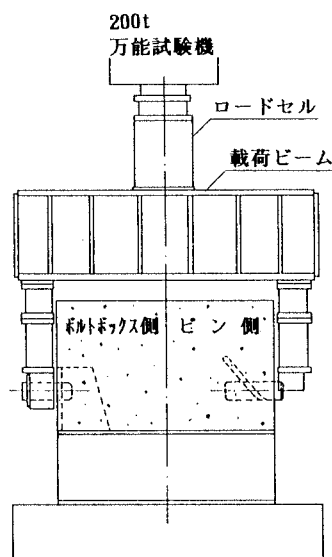


図-2 せん断試験概要図

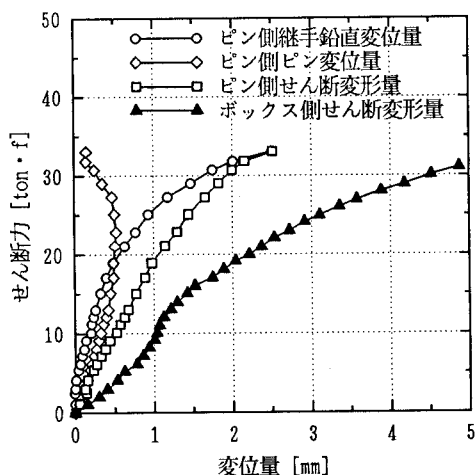


図-3 せん断試験変位量

3・2 継手引張試験

従来のリング継手では、一般に継手板の強度、剛性が低いため、引張力に対して目開きを起こしやすく、止水機能の低下や組立精度に悪影響を及ぼす原因となっている。本試験では、ネジ締結式ピン継手の引張剛性を、従来ボルト・ナット式継手との比較で定量把握した。

試験体は、せん断試験と同様に、ネジ締結式ピン継手のピン側、ボルトボックス側をそれぞれ両端に配置したコンクリートブロックを製作し、センターホールジャッキによりP C鋼棒を介して引張力を与え、破壊まで載荷した。引張試験の概要を図-4に示す。

結果より、ピン側は、ピンとコンクリートとの付着が切れはじめると、ピン直下の主鉄筋が抜け出しに抵抗し始め、主鉄筋の降伏と同時に破壊した。ボルトボックス側は、アンカー筋の降伏により破壊した。破壊荷重は、ピン側が44.0tfで、ボルトボックス側の32.0tfに対して、約1.4倍であった。また、載荷初期段階におけるピン側の引張剛性は非常に高く、ボルトボックス側の約5倍程度であった。

セグメントリング間の目開きを、ネジ締結式ピン継手では、ピン側とボルトボックス側の和とし、従来ボルト・ナット式継手では、ボルトボックス側の約2倍の変形量と考えた場合の荷重-変位関係を図-5に示す。これより、継手1箇所当りの初期引張剛性を比較すると、ネジ締結式ピン継手は、従来比約1.6倍の引張剛性を有していることが確認できた。

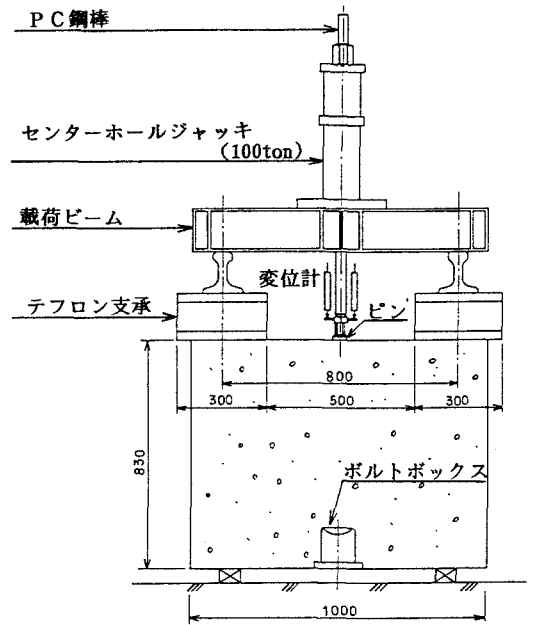


図-4 引張試験概要図

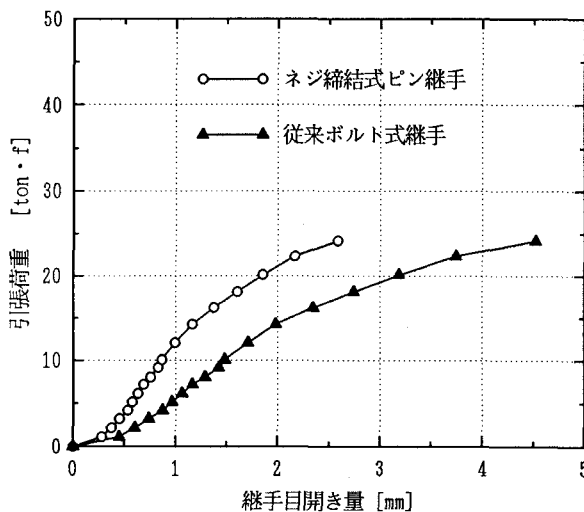
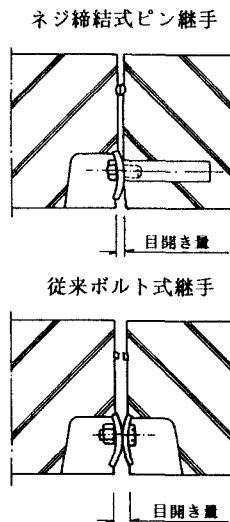


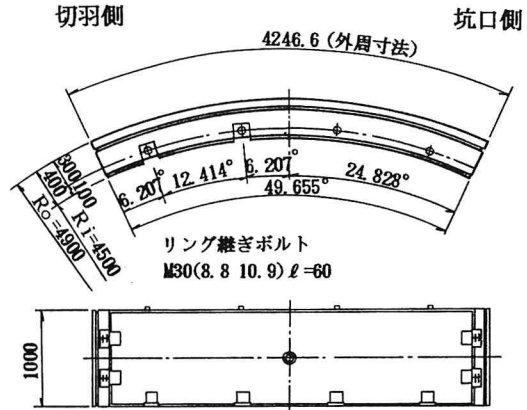
図-5 継手の目開き量



4. ネジ締結式ピン継手セグメントの実施工適用例

本継手を使用したRCセグメントを、「神奈川処理区小机千若雨水幹線下水道整備工事」に全線適用した。小机千若雨水幹線は、横浜市の鶴見川流域の中流域部にあたる小机地区などの雨水排水を目的とし、鴨居地区から神奈川下水処理場第2ポンプ場に至る総延長7730m、管内径3500mm～8500mm、貯留容量230100m³の貯留管方式の下水道トンネルである。本工事は、最下流部の2600mを外径10mの泥水式シールドで掘進し、仕上がり内径8500mmの下水道トンネルを施工するものである。工事概要を以下に示す。

・工 法	泥水式シールド
・掘削外径	φ10000 mm
・掘削延長	2600 m
・最大土被り	35.3 m
・最大地下水位圧	2.4 kgf/cm ²
・最小曲線半径	R120 m
・セグメント	RCセグメント 8 分割
・セグメント外径	φ 9800 mm
・セグメント厚さ	400 mm
・セグメント幅	1000 mm



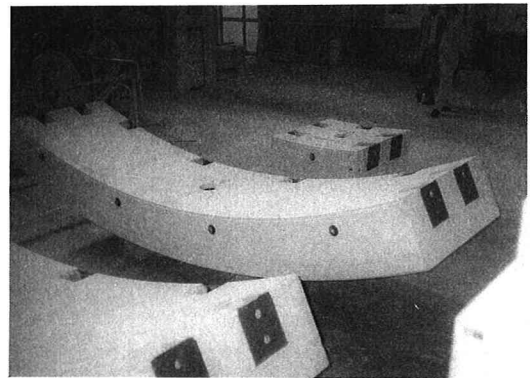
図－6 ネジ締結式ピン継手セグメント概要図
(A型セグメント)

工事の特徴を以下に示す。

- (1) 長距離施工・・・N値50以上、一軸圧縮強度28～58kg/cm²の固結シルトと砂の互層という土質条件下で、延長2600mの長距離施工となる。このため、従来に無い急速施工が必要となる。
- (2) 急曲線施工・・・R=120mを筆頭に140、150m、500mの曲線施工が続く。特にR=120mは、φ10mクラスのシールドでは初めての施工となるため、特に厳しい施工品質が要求される。
- (3) 高水圧・・・最大地下水位圧2.4kg/cm²は一般の施工例からみて、かなりの高水圧である。従って、セグメントに高度な止水性能が要求される。

これらに対処して、セグメント搬入・組立機構においては、セグメントの組立効率と施工安全性の向上を目的に、セグメントの粗位置決めまで自動化した。また、ボルト締め付け作業の確実性と安全性を確保するために、小型・軽量で高トルクが得られるシールド工事専用のボルト締結機を開発し、導入した。

しかし、従来のボルト・ナット式継手を用いたセグメントでは、組立効率の向上に限界がある。他のシステムの導入効果を高めるためにも、より効率の良い継手構造が必要となり、ネジ締結式ピン継手セグメント



写真－2 ネジ締結式ピン継手セグメント

を採用した。図－６および写真－２に本工事で使用したセグメントを示す。

セグメントの組立は、平成２年１２月に開始し、平成４年８月現在、順調に進行している。現在までに、組立時間が１リング当たり従来比２０～４０％減、リングの変形が従来比３分の１以下、セグメント間の目違いが３mm以内、漏水は皆無に近いなど、組立効率、施工品質の飛躍的向上が実証された。現場におけるセグメントの組立状況を写真－３に示す。



５．まとめ

以上の開発実験結果、および実施工適用により下記の成果が得られた。

写真－３ セグメント組立状況

- (1) ネジ締結式ピン継手は従来のボルト・ナット式継手と比較して、せん断剛性は同等以上、引張剛性は約１．６倍といった優れた性能を有しており、この継手を使用したセグメントの実施工においても、セグメントリングの変形が従来比３分の１以下、継手の目開き、漏水は皆無に近いといった、施工品質に対して改善効果が非常に大きい。
- (2) ネジ締結式ピン継手セグメントは、セグメント１リングの組立時間で、従来の２０％～４０％減を達成できた。これは、エレクターの自動化を含めた数字ではあるが、従来のエレクターにおいても、組立効率の向上が充分期待できる。
- (3) セグメントの位置決めや締結機構が簡素化でき、自動組立システムへの対応がより容易になるものと思われる。

今回新しく開発したネジ締結式ピン継手は、従来のボルト・ナット式継手の利点を残しつつ、その手間を省いた継手であると言える。本継手は、従来継手と比較して数多くの優れた特徴を持っており、今後さらに増加すると思われる、シールドトンネルの急速施工、長距離掘進に適合した継手構造であることが確認できた。また、本継手は自動組立システムにも容易に対応可能であると考えられる。

なお、本継手を用いたＲＣセグメントの製作に当たっては、日本プレスコンクリート株式会社の関係各位に御協力を頂いた。ここに感謝の意を表す次第である。

６．参考文献

- 1) 祝田・田代・佐藤・山森：シールド工法用セグメントのネジ締結式ピン継手の開発、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集（Ⅲ－６）、1992.9
- 2) 中山・阿部・木戸：大口径・長距離シールド工事に自動化について、日本プロジェクト・リサーチ、第34回「シールドトンネル工法の施行技術講習会」、”ロボット化進む”シールド工法、pp.50～79、1992.4
- 3) 吉柳：神奈川処理区小机千若雨水幹線下水道整備工事、土木施工、Vol.33、No.8、pp.12～13、1992.8