

コッター・クイックジョイント セグメントの実施工

COTTER AND QUICK-JOINT METHOD FOR SHIELD-SEGMENT JOINTING

喜田 吉夫* 小泉 淳** 納見 誠一*** 山田 幸男****

Yoshio KIDA, Jun KOIZUMI, Seiichi NOUMI, Yukio YAMADA

The joint bolt method seem to be most common for jointing shield segments. However this method has two major defects; the bolt fixing and screwing operation requires boxing-out that causes structural weakness. The operation is a bottle-neck for automation of segment erection.

For eliminating such problems, we have studied and developed a creative "Cotter and Quick-joint Method" that can achieve an excellent segment jointing effect.

We carried out this Cotter and Quick-joint Method for constructing power supply tunnel. This paper gives the mechanism and the result of this method.

Keywords: shield-segment, joint of segment, Cotter and Quick-joint Method

1. まえがき

シールドトンネルの一次覆工（セグメント）は、ボルト式継手で組み立てられているのが一般である。しかし同継手ではボルト・ナットの供給・締結の作業が高所、狭隘部でのものとなり施工が困難となる。また近年、セグメント組立作業の自動化が図られているが、そこで最も困難な作業工程はボルト・ナットの供給・締結の作業であると言われている。

今回ボルトに替わる新しい継手形式（コッター・クイックジョイント）を採用した電力洞道を施工したのでその概要を報告する。

2. 工事概要（関西電力小曾根支線新設工事・管路第9工区）

当工事は、大阪府北摂地域（豊中市、吹田市南部）の電力需要対策として、当地域の供給拠点である小曾根変電所へ 275kV 地中送電線を導入するものであり、幹線道路「新御堂筋」を経由している。

当工区は、小曾根変電所内に設けた発進立坑から狭い生活道路下を通過して、名神高速道路南側の中間立坑に至る、セグメント外径 4,300mm、延長約195mの泥土圧式シールド工と、中間立坑より名神高速道路および大阪内環状線を横断して既設管路へ接続する、ヒューム管外径 3,500mm、延長約 50mの圧気併用羽口推進工によって管路を構築するものである。

* 関西電力中央送変電建設事務所

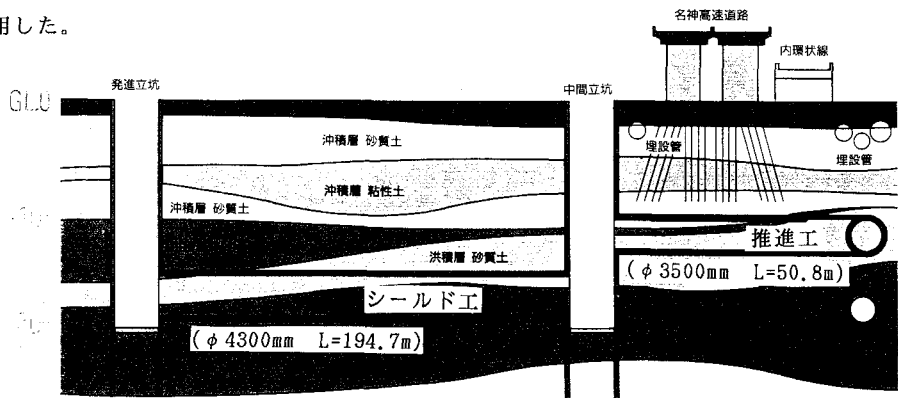
小曾根支線地中送電線工事所長

** 工博 早稲田大学 土木工学科教授

*** 前田建設工業㈱ 大阪支店関電小曾根作業所長

**** 前田建設工業㈱ 本店土木設計本部計画推進部

当路線の土質は、GL 0～-10m：沖積層、GL -10～-25m：上部洪積層、GL -25m以深：大阪層群となっており、シールドは土被り約 15mで上半がやや密な砂層（N=20～50）、下半が硬質な粘土層（N=5～10）と通り、推進部は土被り 10mで主にやや密な砂層（N=20～50）を通過している。今回はこのシールド部分について新しい継手形式を採用した。

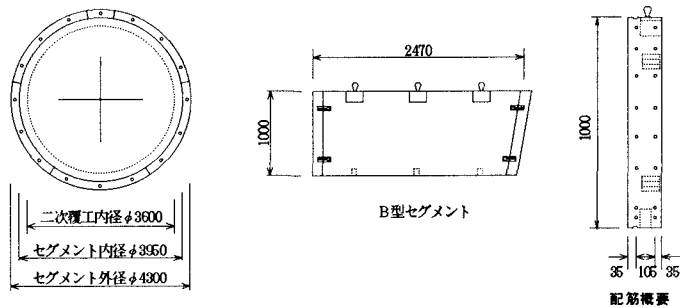


図－1 土質縦断面

3. セグメント、継手の設計

3・1 セグメントの設計

設計は従来の慣用計算法によるリング解析を行っている。セグメント外径や地山条件より、標準番号C140相当（b=1000mm,h=175mm）のものを使用し、Kセグメントは軸方向挿入型としている。概要図に示すように、継手金物箱抜きが小型になり、配筋が均等化されている。



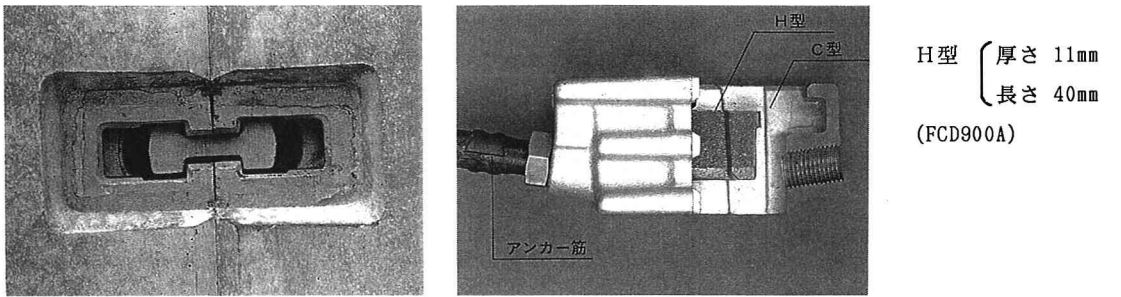
図－2 セグメント概要図

3・2 継手部の設計

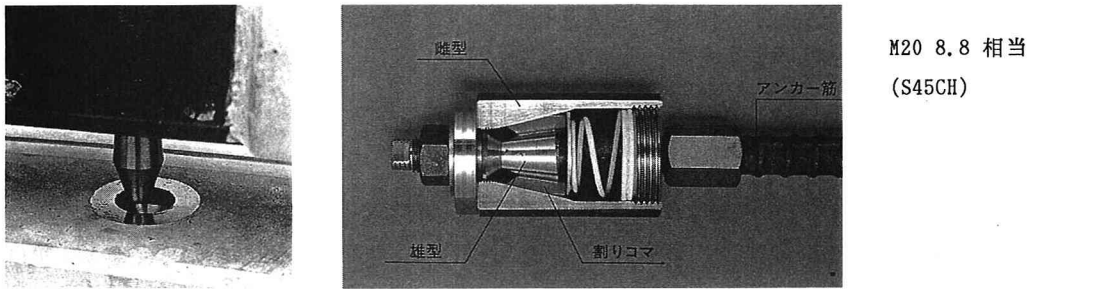
セグメント間には写真1に示すコッター式継手を採用する。金物の形状特性より、製作性を考えオーステンパー球状黒鉛鋳鉄（FCD900A）により製作している。設計は従来のボルト式継手に準じてH型金物を引張抵抗材とするRC断面で行い、今回は厚さ11mm×長さ40mmのH型金物を2個使用することとした。締結は、フランジにテーパのついたH型金物を挿入するだけで終了し、耐力同等のボルト式継手に比べて剛性が数割向上しており、真円度の高いリングが形成されることになる。

リング間には写真2に示すクイックジョイントを使用する。こちらは冷間鍛造（雌型、コマ）と切削加工（雄型）とから製作している。ボルトの締結を従来のネジ山群のナットから、半山の3割コマ・雌型金物に替えただけのものであり、その挙動は従来のボルトと同等なものであることが確認されている。この継手の利点は、自ら位置を決め、押し込むだけで締結される点にあり、また雄型を従来より小型のボルトボックス

スにセットすることにより、軸方向変形能の確保・施工誤差の吸収・締結の確認などが行えることである。設計は、慣用計算法からは作用外力が評価されないで、従来のボルト式継手と同等な径・配置を行うものとし、今回は M20 8.8 相当を16本配置した。



写真－１ セグメント間：コッター式継手



写真－２ リング間：クイックジョイント

４．セグメント、継手の確認試験

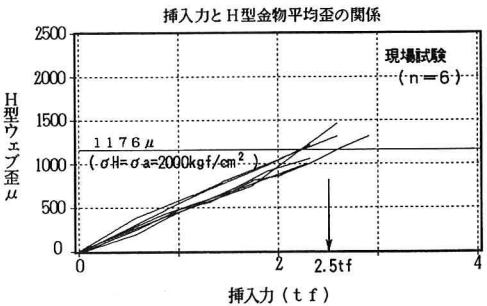
４・１ コッター式継手の確認試験

(a) 挿入試験

コッター式継手の締結はH型金物の挿入のみで完了する。施工管理はボルトでの管理に準ずるものとし、H型金物の引張応力度が許容応力度レベルになるように挿入することとしている。この挿入力の確認のため、挿入に伴うH型金物ウェブの歪計測を行い、同時に挿入深さの確認を行った（仮組セグメントにて6体実施）。試験より個体内での歪のばらつきは見られるものの、2.5tf前後の挿入力でH型金物ウェブに1200μ程度の平均引張歪が発生し、8.8tf程度の締結力が導入されることが確認された。挿入深さも20～25mmと許容範囲内の値となっている。（テーパ量から 1mmの目開きで、H型の挿入位置が 10mm浅くなる）



写真－３ 挿入実験



図－３ 挿入実験結果

(b)引張破断試験

締結されたコッター式継手を、万能試験機により引張り、その破断強度を確認する。

ウェブ断面積は 4.4cm²、H型金物の材質は FCD900A、強度特性値はJIS G-5503 より

引張強度： $\sigma_u=9200\text{kgf/cm}^2$ 降伏強度： $\sigma_y=6100\text{kgf/cm}^2$

設計上は、（許容応力度）＝（降伏応力度）／3 と考えていることより、H型金物ウェブが

$P_y=6100\times4.4=26.8\times10^3\text{kgf}$ 以上の荷重で破断すれば合格とみなす。7体で実施し、 $P_y>35.8\text{tf}$ が確認されている。

4・2 クイックジョイントの確認試験

リング間継手はジャッキ推力の影響を受けて常に強い圧縮力場にあるはずであり、また機能的には、添接効果によるせん断力の伝達を期待されている。

(a)締結確認試験

セグメントの組立誤差を考慮して、2mm手前で締結するように形状を決めている。隙間ゲージを挟んで締結させることにより、余裕（2mm）を確認する。

(b)引張破壊試験

クイックジョイントの引張強度を確認し、さらに継手面の止水性（シール材の圧縮保持）を考慮して、目開き特性に関しても確認しておく。

試験は、クイックジョイントを万能試験機にセットし、引張载荷を行う。

クイックジョイントの材質は S45CHであり、ボルトの 8.8相当としており、寸法は M20（有効断面積 $A_e=2.45\text{cm}^2$ ）としている。

強度特性値は

引張強度： $\sigma_u=8000\text{kgf/cm}^2$

降伏強度： $\sigma_y=6400\text{kgf/cm}^2$

許容応力度： $\sigma_s=2400\text{kgf/cm}^2$ （ $=\sigma_y/2.67$ ）

よって $P_y=\sigma_y\cdot A_e=6400\times2.45=15.7\times10^3\text{kgf}$

以上の荷重で破断すれば合格とみなす。

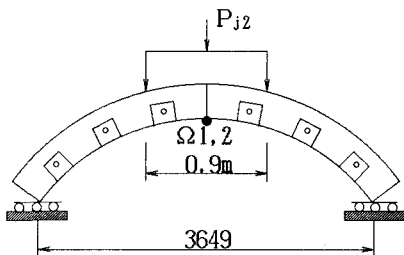
表－1 引張試験結果

供試体	破壊荷重 P (tf)	10tfでの 目開量(mm)
1	20.5	0.63
2	20.7	0.42
3	20.4	0.70

引張力 10tf > 許容引張力 (5.88tf)
止水シール潰し代2.8mm（設計より） > 目開き量0.6mm/10tf
よって、止水性は十分確保できる

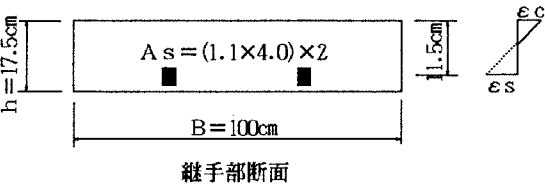
4・3 セグメント性能試験（継手曲げ試験）

セグメント間継手の仕様変更に伴い、継手曲げ試験により継手部の剛性・強度の評価を行った。



$$M=0.687P_{j2}(\text{tf}\cdot\text{m})$$

図－4 継手曲げ試験



$$n=\frac{E_s}{E_c}=\frac{1.7\times10^5}{3.5\times10^5}=4.86$$

$$\text{中立軸位置 } x=2.74\text{cm}$$

$$\text{断面2次モーメント } I_o=\frac{(0.175)^3\times1.0}{12}=4.47\times10^{-4}\text{m}^4$$

(a) 曲げ剛性 (回転バネ定数)

試験結果 (図-5) において、

作用曲げモーメント: $M=0.687P_{j2}(\text{tf}\cdot\text{m})$ 、

継手部回転角: $\theta=\frac{\delta}{h-x}=0.00678\delta(\text{rad})$ より

$$k_{\theta}=\frac{\Delta M}{\Delta \theta}=\frac{1.03}{6.50\times 10^{-4}}=1580 \text{ tf}\cdot\text{m/rad}、$$

よって、無次元化した継手の曲げ剛性 (k_{θ}^*) は

$$k_{\theta}^*=\frac{k_{\theta}r}{EI}=\frac{1580\times 2.06}{3.5\times 10^6\times 4.47\times 10^{-4}}=2.08$$

となる。同規模のボルト式継手での k_{θ}^* 値が 0.3~3.0 程度であり、やや硬めの継手であると判断できる。

(b) 継手部曲げ強度

本体の抵抗モーメント ($M_s=2.57\text{tf}\cdot\text{m}$) の 60% を継手部の許容モーメント ($M_j=1.54\text{tf}\cdot\text{m}$) としており、

設計荷重 $P_0=\frac{M_j}{0.687}=2.24\text{tf}$ 、破壊荷重 $P_u=2.5P_0=5.60\text{tf}$ となる。載荷試験においては、

初亀裂目視確認 3.0tf、破壊荷重 11.0tf (継手部背面の圧壊) となった。

継手部の設計では

$n=12$ の場合 (設計時、 $n=15$ に対応)

中立軸位置は $x=3.98\text{cm}$ となり

$$\sigma_s=\frac{M}{A_s(d-x/3)}=\frac{1.54\times 10^5}{8.8(11.5-3.98/3)}=1720 \text{ kgf/cm}^2 < 2000 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_c=\frac{2M}{bx(d-x/3)}=\frac{2\times 1.54\times 10^5}{100\times 3.98\times (11.5-3.98/3)}=76.1 \text{ kgf/cm}^2 < 150 \text{ kgf/cm}^2$$

となっている。強度が大きくでている (背面の圧壊が遅れる) 主な原因は、コンクリート応力に余裕がある点もあるが、コッターの拘束力がボルトでの点的拘束に比べて、線的拘束になっており、目開きが生じにくく中立軸の移動が遅れることに依ると思われる。

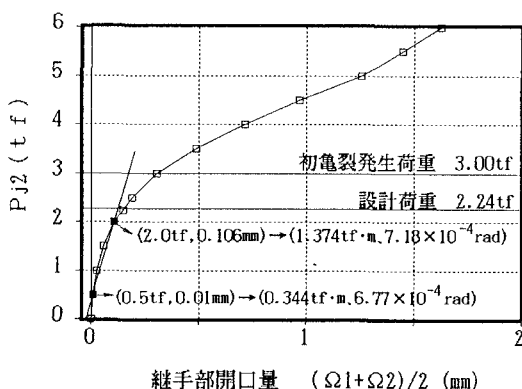


図-5 荷重-継手部目開き量

5. 施工

5.1 施工計画

今回新しい継手形式によるセグメント組立を通し、確認する項目は以下の通りである。

- ①組立精度 (段差、目開き、真円度 等)
- ②継手挙動 (金具の発生応力、安定性)
- ③仕上がり (クラック・欠けの発生、止水性)

この新しい継手形式を用いることにより、図-6に示すような方法でセグメント組立を完了することができる。組立の自動化を目指した継手であるが、今回はその第1ステップとして、従来の手動エレクターによりセグメントの位置合わせを行い、エレクターに搭載したコッター打込み機によりH型金物を打ち込むことにしている。

- ①組立ピースの内面を既設のピースに合わせる
- ②組立ピースを軸方向に送り込みリング間を締結する
- ③セグメント間にコッターH型を打ち込む

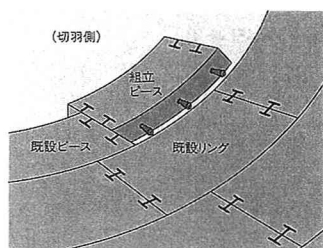


図-6 セグメント組立の概要

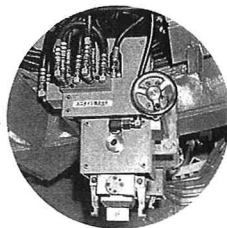
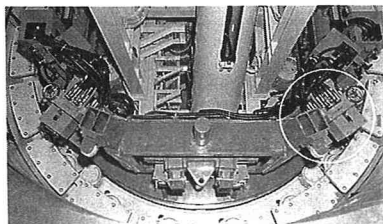


写真-4 エレクターとコッター打ち込み装置

5・2 施工結果

工程は9月中旬までに初期掘進の29リングの施工を行い、10月中旬より本掘進に入る。初期掘進においては組み立てたリングの鉛直方向たわみは2~3mmと真円度が高く、コッターの挿入深さも 20 ± 5 mmと安定し、目開き・目違いも小さなものになっている。組立時間はまだ大きな短縮にはなっていないが、作業員を高所・狭所での作業から解放することができる。

今回の施工を通し次回にはより進んだ自動組立機構が構築できるものと確信している。



写真-5 トンネル内状況

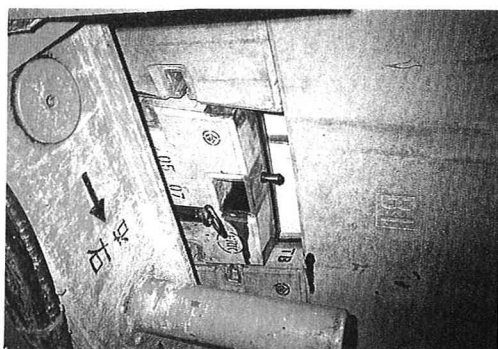


写真-6 組立セグメント面

6. 参考文献

- 1) 坂口良孝、松井芳彦、茂手木徳次郎：コッター式継手セグメントの実施工
トンネル工学研究発表会論文・報告集 Vol 1, P113~118 1991.12
- 2) 松井芳彦、川本伸司、永田健二：コッター式継手の基礎実験
トンネル工学研究発表会論文・報告集 Vol 2, P67~72 1992.10
- 3) 永田健二、松井芳彦：コッター・クイックジョイント継手の基礎実験
土木学会第48回年次学術講演概要集 Ⅲ-13 1993.9