

コッター式継手セグメントの実施工 COTTER JOINTING METHOD FOR SHIELD-SEGMENT JOINTING

坂口良孝*・松井芳彦**・茂木徳次郎***

Yositaka SAKAGUTI, Yoshihiko MATSUI and Tokujirou MOTEJI

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 Jointing Method" that can achieve an excellent segment jointing effect.

We carried out this Cotter Jointing Method, so report the mechanism and the results.

Keywords: joint of segment, Cotter Jointing Method

1. まえがき

セグメントの継手はボルト金具式が主流になっているのが現状であるが、これにはボルトのセットとその締め付け作業のための箱抜きを設けることによる断面欠損が構造的な弱点となってくる。更に、この一連の作業は一見単純ではあるが、機械化・自動化を考えると複雑な動作が要求される。

これらの問題を解決するため、新しい機構のセグメント用継手「コッター式継手」を開発した。これは隣り合うセグメントの端部に埋め込まれたC型の金物同士の間に、H型の金物を挿入するだけで大きな結合力を得る、楔（コッター）の原理を活用した機構の継手である。

今回埼玉県発注の下水道シールド工事（セグメント外径φ4800mm）において、このコッター式継手を施工する機会を得たので、この継手機構の概要及び施工結果について報告する。

2. コッター式継手の原理

2・1 継手の機構

コッター（Cotter）とは楔のこと。これはその原理を逆に利用し、打込むに従って割れ目が閉じてゆくような機構となっている。即ち、セグメント端部にC型の金物を埋め込んでおき、そこにH型の金物を挿入する。挿入していくに従ってC型金物同士が引き寄せられるように、C型、H型の金物のフランジ部に1/20

* 正会員 前田建設工業(株)北関東支店

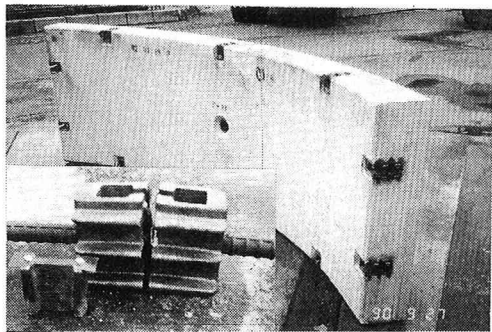
** 正会員 前田建設工業(株)技術部

*** 正会員 フジミ工研(株)技術部

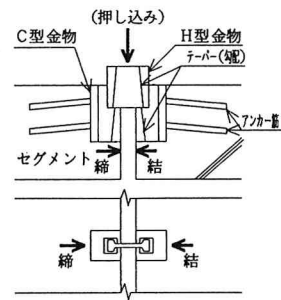
程度の勾配が付けられており、これによってセグメント同士が結合されることになる。具体的には写真に示すような形状の金物を鋳造し、セグメントにセットする。材質は球状黒鉛鋳鉄（FCD37～70）としている。

表－1 材料表（物性値）

	ヤング係数 kgf/cm ²	耐 力 kgf/mm ²	引張強さ kgf/mm ²	許容引張応力度 kgf/cm ²	許容応力せん断度 kgf/cm ²	備 考
FCD37	1.7×10 ⁶	>24	>37	1200	900	C型金物
FCD70	1.7×10 ⁶	>43	>70	2300	1500	H型金物
SS41	2.1×10 ⁶	>25	>41	1400	800	継手板
鋼ボルト8.8	2.1×10 ⁶	>64	>80	2400	1500	ボルト



写真－1 コッター式継手金物と
それを装着したセグメント



図－1 コッター式継手の原理

この継手形式の特徴を整理すると、

- ①C型金物は主筋間隔内に収まるので、継手部の断面欠損がほとんどなく、金物の厚さ、設置個数の変更により、容易に継手部の強度を上げることができる。
- ②H型金物を深めに挿入することで、負曲げに対しても正曲げと同等の剛性が得られる。
- ③締結作業は半径方向の直線運動（H型金物の押し込み）のみと簡単であり、セグメント組立の自動化が計り易い。

2・2 コッター挿入力と締結力

従来のボルト金具式継手においては、ボルトの締付けトルクを管理して、ボルトの締結力がほぼ一定になるように行っている。コッター式継手においても締結力を一定にすべく以下の理論にしたがって管理していくものとする。図－2において、挿入力（F）と締結力（P₀）との間には楔理論に従えば、次の関係が成立する。

・摩擦抵抗を考えない場合

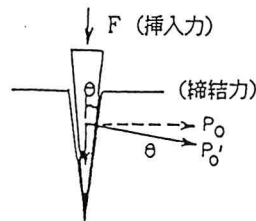
$$P_0 = \frac{F}{2} \frac{1}{\tan \theta}$$

・摩擦抵抗（F₀）を考慮する場合

$$P_0' = \frac{F - F_0}{2} \frac{1}{\tan \theta}$$

但し F₀ = 2 μ P₀ ÷ 2 μ P₀ , μ : 摩擦係数

$$\therefore 2 (\mu + \tan \theta) P_0 = F$$



図－2 挿入力と締結力

今回の金物フランジ部の勾配 (θ) は $\tan \theta = 1/20$ としている。又鉄鉄同士の摩擦係数 (μ) は 0.15 程度と想定される (「土木設計便覧」より)。よって上式は、

$$2(0.15 + 1/20) P_o = F \quad \therefore 0.4 P_o = F$$

即ち、挿入力 (F) に対し 2.5 倍程度の締結力 (P_o) が期待できることになる。又、摩擦による項 (μP_o) が勾配による項 ($\tan \theta \cdot P_o$) より大きい点より、安定性も確保されることになる。

3. コッター式継手セグメントの実施工例

3・1 工事概要

工事件名：「荒川右岸流域下水道 新河岸川幹線管渠築造 16 工区 1 号工事」

本工事は、荒川の主要支川である入間川・新河岸川が流れている荒川右岸流域地域 (10 市 4 町) での東京のベッドタウンとしての急速な市街化に伴う、荒川右岸流域下水道及び関連公共下水道の処理水量の増大に対し施設拡充を行うものである。当工区は、平坦部に土被り 10~13m で設置される泥土圧型シールド工法による $\phi 4800\text{mm}$ 、路線延長 1006.3m のものである。地質は、一部で下面に洪積砂が出てくるもののほぼ全面で $N = 1 \sim 2$ の沖積粘性土層であり、地表面付近に地下水位がある。セグメントは RC 造 ($B = 900\text{mm}$, $t = 200\text{mm}$, 6 分割) が主体で、継手部はボルト金具式 (M22, 8.8) となっている。このうち直線部 30 リング (27m) に対して、コッター式継手を用いることになり、平成 2 年 5 月に実施した。

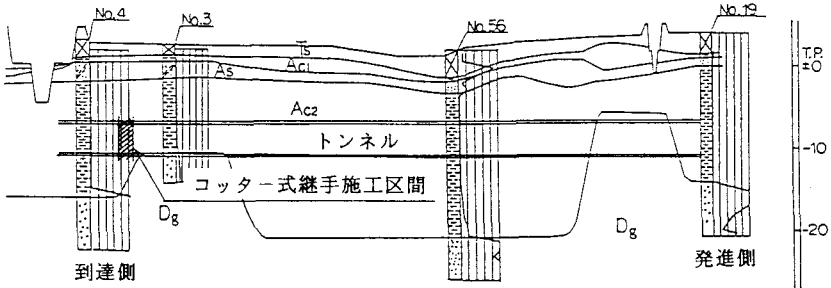


図-3 地質縦断図及びトンネル位置

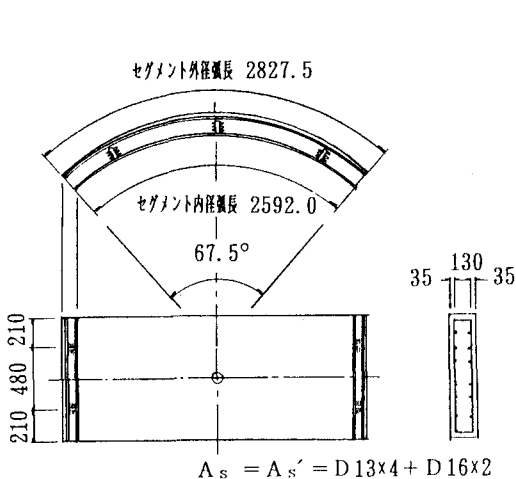


図-4 A型セグメント図

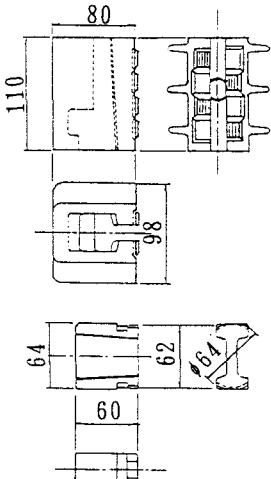


図-5 コッター金物図

3・2 継手部の設計

設計はボルト金具式継手のそれに準ずるものとし、主要な留意事項は以下の4点とした。

- ①セグメント間継手に関しては、コッターのH型金物を引張鉄筋と看して鉄筋コンクリート断面として設計し、C型金物及びアンカー筋もこれに準じて設計する。実際の設計においては圧縮力が卓越している場合が多く、その場合は継手部が本体の抵抗モーメントの6割を確保するように設計する。
- ②せん断力の伝達に関しては、金物の締結力に起因する摩擦力が主体となるが、安全を考え図-5に示すようにC型金物接合面に凹凸を設け、噛み合わせておく。(ボルト孔のクリアランスを有するボルト式継手の挙動に類似する)
- ③C型金物の補強及び面内への抜け出し(押し抜きせん断的)抵抗材として外周部に3層のせん断翼を設ける。(図-5参照)
- ④リング間継手に関してはセグメント間継手と同一仕様とする。

今回の施工現場では発生断面力は圧縮力が卓越した形になっている。($M_{max} = 2.14 \text{ tfm/R}$, $N = 32.6 \text{ tf/R}$)
各部材の抵抗モーメントを一覧表の形で示す。

表-2 各部材の抵抗モーメント M_R (tfm/R)

セグメント本体	ボルト式継手部 (一般部)	コッター式継手部		
		H型金物	C型金物	アンカー筋
2.34	1.68	3.22	H型に準ずる	1.74

3・3 継手部の試験

今回使用するコッター式継手に対して、下図に示す継手部曲げ試験及び継手部せん断試験を実施した。

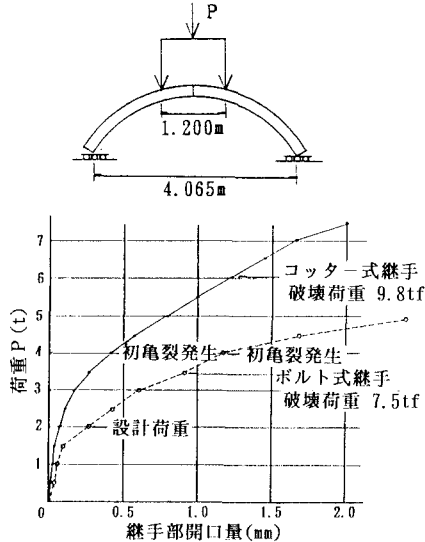


図-6 継手部曲げ試験

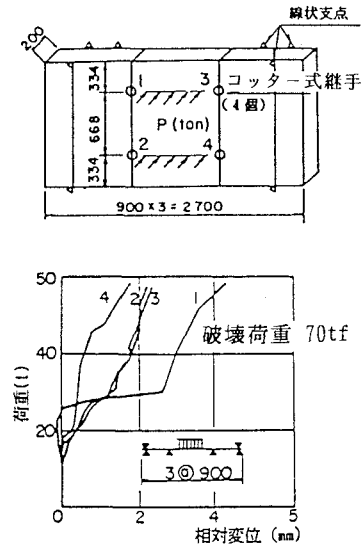


図-7 継手部せん断試験

(継手部曲げ試験より) 今回の形状寸法物なら、ボルト式継手と同等の強度が期待でき、継手部の曲げ剛性は改良されている。破壊形状は、本体の載荷点内側の軸方向クラックが卓越したものであった。

(継手部せん断試験より) $P = 15 \sim 30 \text{ tf}$ (3.75 ~ 7.5tf/個) の間で、締結力に起因する摩擦抵抗からC型金物接合面の凹凸の噛み合い抵抗に移行している。破壊形状は、C型金物を含む周辺のRC塊の円錐状の抜け出しであった。

3・4 施工管理の方針

コッター式継手部の実施工は、一般部でのボルト締結作業をコッター挿入作業に替えただけで、エレクトラ装置・セグメント形状（6分割・半径方向キー）等は同一のまま行なった。コッター式継手の施工管理は以下の方針に従って行なうことにした。

(a) 締結力（ P_0 ）は、H型金物ウェブでの発生応力度が許容応力度の $3/4$ 程度になるように定める。

今回は、 $\sigma_{Hs} = 2300 \text{ Kg/cm}^2$ （FCD70）

$A_H = 6.0 \text{ cm}^2$

よって、締結力は

$$P_0 = (0.75 \cdot \sigma_{Hs}) A_H = (0.75 \times 2300) \times 6.0 = 10350 \text{ Kg} = 10.4 \text{ tf}$$

(b) 2. 2の検討より、挿入力（ F ）と締結力（ P_0 ）との間に $0.4P_0 = F$ の関係が成立するので、挿入力は、 $F = 0.40 \times 10.4 = 4.1 \text{ tf}$ とした。

(c) H型金物の挿入量位置については、テーパ量より、目開き 1mm が挿入量 10mm の移動になって現われてくる。金物の製作精度、セグメントへの埋め込み・組み立ての誤差を考え、挿入量（ h ）は $0 \sim 45\text{mm}$ を規準とする。

(d) 挿入治具の油圧シリンダーとして次の規格のものを用いた。

能力	10 tf	
受圧面積	14.4 cm^2	（最高使用圧力 700 Kg/cm^2 ）
ストローク	105 mm	

(a) ～ (d) の設計上の条件より、実施工（セグメント組立）においては、

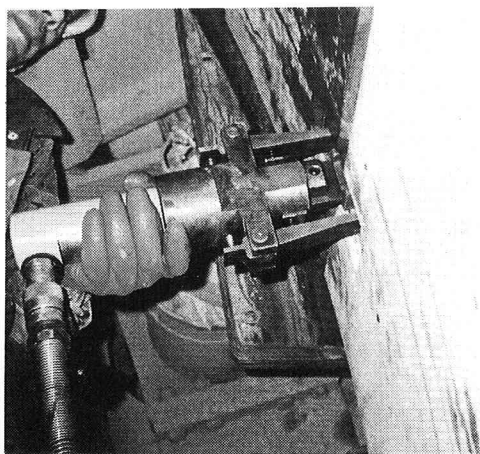
- ・作用油圧を 285 Kg/cm^2 （挿入力 $F = 4.1 \text{ tf}$ ）にセットする。
- ・H型コッターの挿入量（ h ）は $0 \sim 45 \text{ mm}$ に収める。

の2点で管理した。

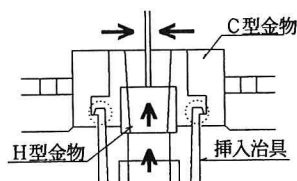
3・5 施工結果

(a) 施工状況

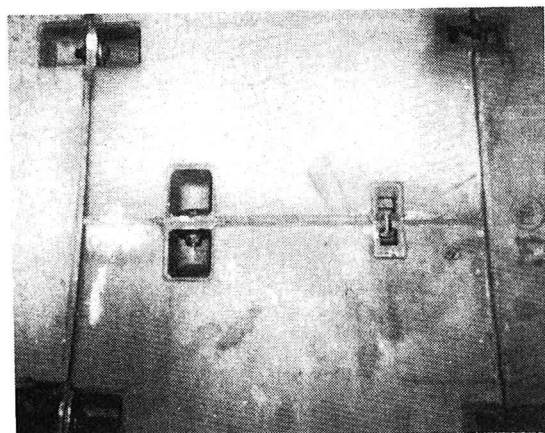
コッター式継手セグメントの施工状況及び仕上がり状況を写真－3，4に示す。



挿入治具先端のツメをC型金物手前のアゴに掛けて反力を取り、H型金物を圧入していく。金物につけたテーパにより楔効果が発揮され、セグメントが緊結される。



写真－2 H型コッター挿入状況



写真－３ ボルト式継手（左側）とコッター式継手（右側）との取合部

写真－２，３より、ボルト金具式継手に比べて、施工（締結作業）がより単純化されており、又、継手部での断面欠損が少なくなっている点が理解できると思う。

施工速度については、エレクターが従来のボルト金具式継手での仕様である、挿入治具が試作機である、又、作業員が不慣れである等のことより、今回は従来のボルト金具式継手部に比べて７割程度の能率であった。しかし上記の改良を行えば同等以上の能率が得られるものと思われる。更に、コッター式継手の最大のメリットは自動組立に組み込まれることによって発揮されるはずである。

(b) H型金物の挿入量について

３・４で触れている２つの管理規準に従ってコッター式継手 812個（セグメント間12個×29リング＝348個、リング間16個×29リング＝464個）を施工した。継手全数がトラブルなく施工できており、挿入量も規格とした値（ $h = 0 \sim 45\text{mm}$ ）に収まっており、施工の信頼性が確認された。

組立後約一週間で、H型金物に $1 \sim 2\text{mm}$ の緩みが生じ、増締めにより $4 \sim 5\text{mm}$ 挿入されている。これは、セグメントリングが組立から増締めまでの間に、自重・シールド推力・外部土水圧・裏込注入圧等設計で考慮する荷重のほぼ全量の作用を受けていることを考えると、この間の挿入量変化が上記の値（ $1 \sim 2\text{mm}$ ）程度である事は、この継手の安定性を示すものであろう。増締めによる再挿入量が $4 \sim 5\text{mm}$ と大きい様に感じられるが、セグメントが各種の外力を受けて微妙に変位し“なじみ”を取ったものと思われる。これは増締めの必要性を示している。

また、止水ゴムの厚さが挿入量に影響を与えることも確認された。

(c) 3ヶ月後の挿入量確認

増締めを行ってから3ヶ月経過した時点で、コッターの安定性を確認するため、施工30リングの内6リングの下半部で挿入量の計測を行った。その結果、 1mm 弱の抜け出し傾向が見られた。

(d) 内空計測について

コッター式継手を含む区間での水平・鉛直の内空計測を行なった。剛性の高いコッター式継手の採用により真円度の改善を期待したが、一連の施工のためか大きな改善は見られなかった。しかし、径の経時変化はボルト金具式継手部と比べて小さく、コッター部がより安定していると言えよう。

4. あとがき

新たに開発したコッター式継手の実施工は計画通りに行うことができ、継手の安定性・施工性が確認できた。今回の実施工はその施工の簡易さから、セグメント組立の自動化・機械化に向けて大きなステップとなるものと確信する。