

改良型曲がりボルトセグメントの 開発に関する共同研究

1. 研究の目的

現在下水道事業で建設コストのスリム化に向けた様々な検討がなされている。

下水道事業が大部分を占めているシールド工法で、セグメント継手ボルトの合理化によってコストスリムに貢献できる新技術の開発を目指した。シールド工法におけるコスト縮減では、セグメント継手ボルトの省略などの研究もなされているが、本研究では、ボルト締結時にとも回りが無く施工速度が速い上、過去にはかなり実績がある曲がりボルト継手に注目した。

曲がりボルト継手は、旧来からあった技術であり、現在主流となっている金具式直ボルトセグメントと比べて、合理的な設計が可能で、かつ施工性に優れた長所もある反面、ひび割れの発生や、剛性が小さく変形が大きい、組立精度（真円度）が低い、などの問題から日本国内においてはほとんど採用されなくなっている。

そこでこれらの問題点を解決する改良型曲がりボルトセグメントを開発し、セグメントの製作コスト縮減と設計・施工の合理化でシールド工法全体のコスト縮減を図ろうとするものである。

2. 研究体制

平成9年度から2年間の子定でジオスター(株)と共同研究を行っている。

3. 研究内容

3.1 従来型曲がりボルトセグメントの改良点

従来型曲がりボルトセグメントの問題点は以下のとおり。

- ① ボルト締結時にクラックが発生する。
- ② ボルト穴クリアランスが大きく、組立精度（真円度）が低い。
- ③ 継手剛性が低く、変形しやすい。

従来型曲がりボルトセグメントでは、ボルトの締結力を大きくするとセグメント本体のコンクリート部にクラックが生じやすく、高力ボルトを使用して大きな締結力で締めつけることができなかった。改良型曲がりボルトセグメントでは、補強管を使用することで高力ボルトを使用して大きな締結力で締めつけることを可能にし、締結力は補強管の外周や「ツノ」を通じて継手面全体にプレストレスとして作用させてクラックの発生を抑え、高い継手剛性を確保した。

また、従来型曲がりボルトセグメントでは、型枠でボルト穴を抜くためテーパがついて、結果としてボルト穴のクリアランスが大きくなり、組立精度を悪化させる原因となっていた。この点についても補強管によってクリアランスが調整できるほか、リング間の補強管に調芯用の凹凸を設けることで、セグメントの組立精度の向上を図るとともに、ボルトの挿入も容易になった。(写真-1)

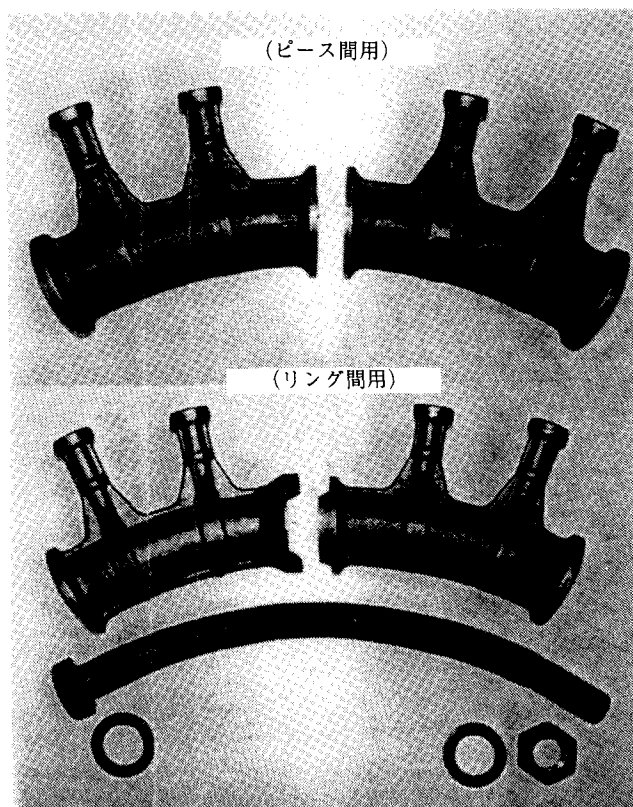


写真-1 改良型曲がりボルト継手の補強管と曲がりボルト

3.2 シールド覆工のコスト縮減

3.2.1 コスト縮減の方法

シールド覆工のコスト縮減の方法には大きく分けて以下の2つの方法がある。

- ・セグメントの改良
- ・二次覆工の省略

本研究ではこのうちセグメントの改良を目指している。本セグメントは、従来の金具式直ボルトセグメントよりもボルトボックスが浅く、容積が小さいため穴埋めの手間が少ない。さらに、ボルト位置を桁高中央付近とすることで本体鉄筋のかぶりも大きく確保できるため、耐腐食性を考えると二次覆工の省略に対しても有利である。

セグメントの改良によってコスト縮減する方法は大きく分けて3つの方法がある。

- ① セグメントの製作費を低減する方法
- ② セグメントの組立速度を上げる方法
- ③ 設計手法を見直し、より合理的で簡素化されたセグメントとする方法

本研究では①～③のいずれも適用するものである。

3.2.2 セグメント製作費の低減

セグメント製作費の低減については、金具式直ボルトセグメントの場合、リング間ボルトボックスによりセグメント幅方向端部内縁側に主鉄筋を配置で

きないため補強鉄筋が必要であった。また、従来型曲がりボルトセグメントはボルト穴周りを補強するV字型の補強鉄筋が必要であった。これに対して改良型曲がりボルトセグメントでは、補強管をダクタイル鋳鉄によりV字型の補強鉄筋に代わるアンカー(ツノ)を同時に一体成形し、鉄筋量の減少と鉄筋籠製作の煩雑さを解消し、セグメント製作費の低減を図った。(図-1, 写真-2)

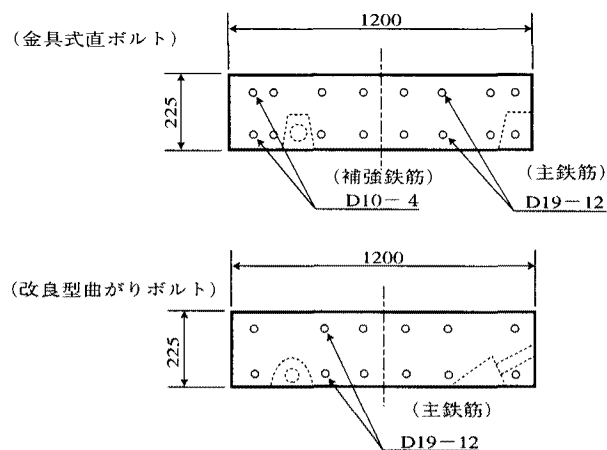
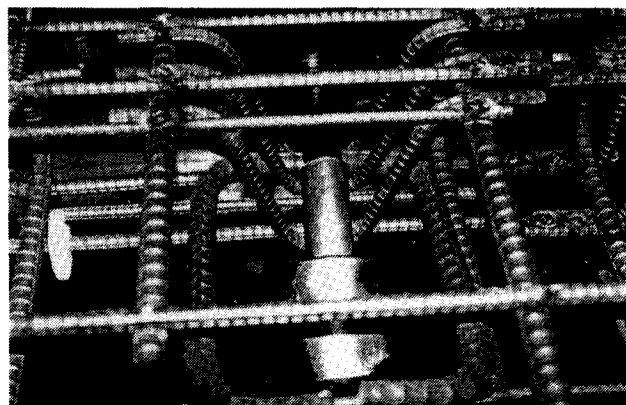
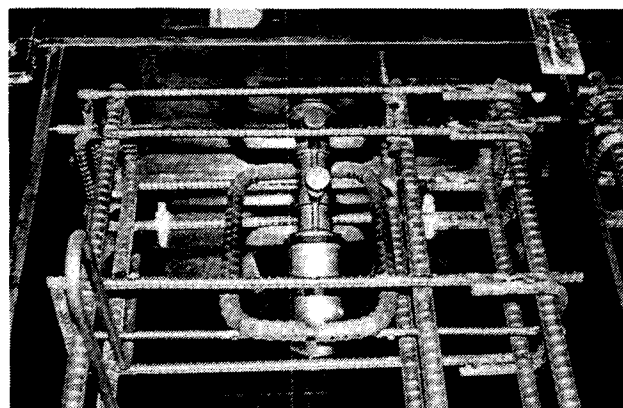


図-1 供試体における主鉄筋と補強鉄筋



(従来型曲がりボルト)



(改良型曲がりボルト)

写真-2 継手部の補強鉄筋

3.2.3 セグメント組立速度の向上

金具式直ボルトセグメントは継手面のボルト穴を目視できるため比較的組み立て易いが、ボルト締結時に供回りしないように把持する必要があった。これに対して曲がりボルトセグメントは供回りが少ないためボルトの締結が容易である。更に改良型ではリング間の補強管に調芯用の凹凸を設けたため、セグメントの位置あわせとボルトの挿入も容易にした。

3.2.4 設計手法の見直し

改良型曲がりボルトセグメントでは補強管の作用によって高力ボルトの使用が可能となり、セグメント継手の剛性が高くなった。従来からよく使用されている剛性一様リング解析（慣用計算法）から梁バネリング解析によりセグメントを設計すれば、高くなったせん断バネ定数、回転バネ定数を正確に評価することができ、その結果、計算は若干煩雑にはなるが、条件によっては発生応力や変形量が慣用計算法よりも小さくなることで鉄筋量や桁高などをランクダウンすることが可能となる。

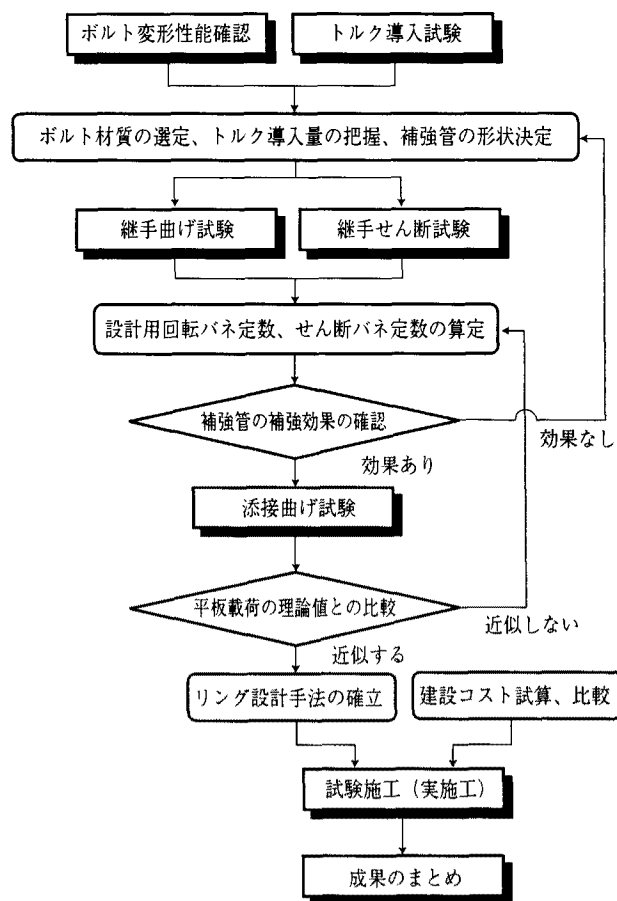


図-2 要素試験と開発フロー

4. 要素試験

これらの改良型曲がりボルトセグメントの効果を検証するため、平成9年度は要素試験を行った。

要素試験は、図-2に示すフローに従って行った。

(1) トルク導入試験

従来型曲がりボルトセグメントは締付けによってボルトが変形し、所定の応力が導入できず、継手部コンクリートに影響を及ぼしてクラックが発生していたと考えられる。そこでボルトの変形が拘束されない状態（従来型を想定）での導入トルクとボルト変形量の関係とボルト変形が拘束された状態（改良型の補強管を想定）での導入トルクとボルト中央部の発生応力の関係を確認する。また、実供試体（RC）による継手部コンクリートへのトルク導入の影響（コンクリート応力とクラック）を確認する。

(2) 継手曲げ試験

金具式直ボルトセグメントの比較で改良型曲がりボルトセグメントの回転剛性を測定し、設計強度に使用する。

(3) 継手せん断試験

金具式直ボルトセグメントとの比較で改良型曲がりボルトセグメントのせん断剛性を測定し、調芯機能凹凸による効果確認と設計強度に使用する。

(4) 添接曲げ試験

千鳥組みされたセグメントリングは、リングボルトにより隣のリングに曲げモーメントが分配され、セグメント継手部に作用する曲げモーメントが軽減され、リング変形量も減少する。

そこで、平板供試体による添接曲げ試験によって変形挙動を把握し、金具式直ボルトセグメントと比較した。

5. 試験結果

(1) トルク導入試験

トルク導入試験の測定結果から、各ボルト強度区分別の許容応力度レベル（標準セグメント基準）までの締結に必要な締付けトルクは表-1の通りであった。

表-1 ボルト締結に必要な締付けトルク

ボルト強度区分	6・8	8・8	10・9
許容応力度 (kgf/cm ²)	1800	2100	3000
所要トルク (kgf・cm)	6000	8000	9000

従来型曲がりボルトセグメントでは6・8が多く使用されていたが、導入トルクに対する変形量が8・8や10・9と比べて大きいことが確認された。また、従来型曲がりボルトセグメントに10・9を導入した場合、コンクリートにクラックが発生し、定着部ワッシャーがコンクリートに食い込んで許容応力度までの締付けはできなかった。これに対し改良型曲がりボルトセグメントでは、導入トルクとボルト応力の関係は許容応力レベルまではほぼ比例関係にあり、コンクリートにはクラックは発生せず、補強管の効果が確認できた。(図-3)

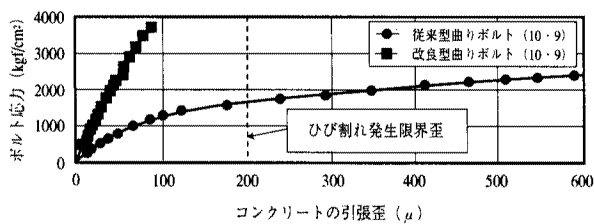


図-3 コンクリート引張歪とボルト応力の関係

(2) 継手曲げ試験

金具式直ボルトセグメントと比較して改良型曲がりボルトセグメントの高い回転剛性が確認された。回転バネ定数の測定値は表-2の通り。

(3) 継手せん断試験

金具式ボルトセグメントと比較して改良型曲がりボルトセグメントの調芯機能の凹凸による高いせん断剛性が確認された。せん断バネ定数の測定

表-2 抵抗モーメント時の回転バネ定数

回転バネ定数 $tf \cdot m/rad$	回転バネ (正)		回転バネ (負)	
	10・9	6・8	10・9	6・8
改良型曲りボルト継手	1800	2200	1700	1300
金具式直ボルト継手	300	800	120	250

表-3 せん断バネ定数

		10・9	6・8
		改良型曲りボルト継手	Ks1
	Ks2	15500	4300
	Ks3	2000	0
	Ks4		5700
金具式直ボルト継手	Ks1	50300	35100
	Ks2	0	0
	Ks3	6500	8400

値は表-3の通り。

(4) 添接曲げ試験

改良型曲がりボルトセグメントではリング間のプレストレスによる添接効果が設計曲げモーメントの約2倍近くまで現れている。変形量は金具式直ボルトセグメントと比較して改良型曲がりボルトセグメントでは約1/5に低減されている。改良型曲がりボルトセグメントの最終荷重は金具式直ボルトセグメントの約1.2倍になった。(図-4)

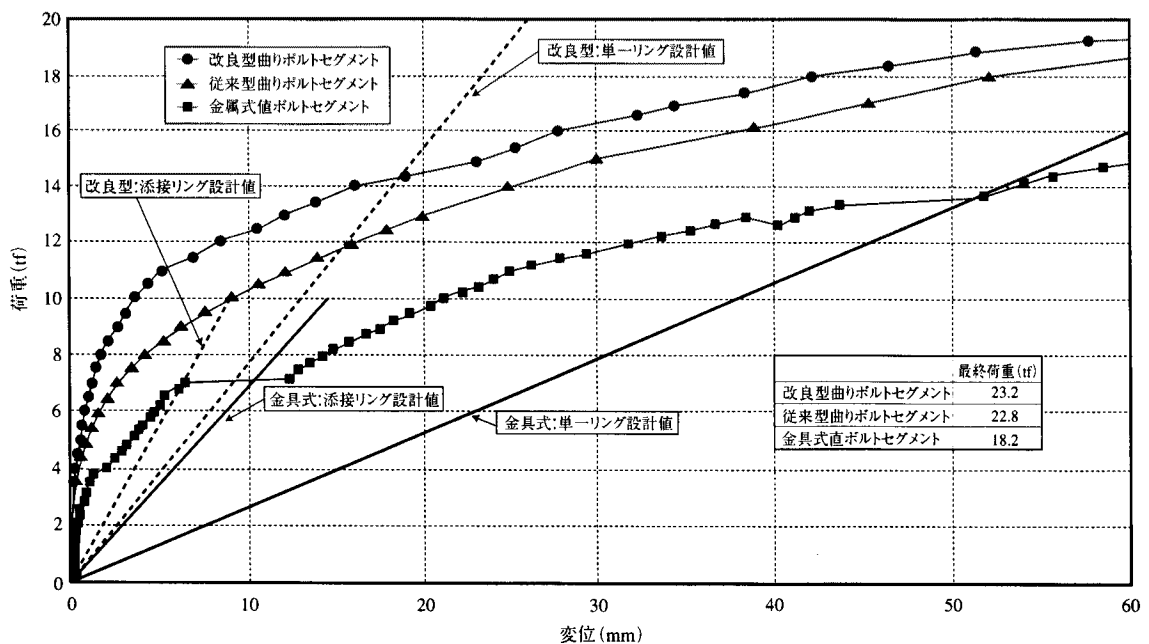


図-4 添接曲げ試験結果

6. 試験結果のまとめ

- ・改良型曲がりボルトセグメントは、ボルト締結時のクラックの発生を抑えることができる。
- ・高力ボルト（8・8, 10・9）の使用が可能である。
- ・締め付けによるプレストレス効果が確認され、同一ボルト使用時に金具式直ボルトセグメントよりも高い回転剛性、破壊耐力が確認された。
- ・調芯機能による高いせん断剛性が確認された。
- ・添接効果が向上し、リンク剛性が高くなる。

7. 今後の予定

今後、これらの結果及びデータをもとにリング解析（梁バネモデル）による合理的な設計方法を提案し、セグメントの簡素化によるコスト縮減についてアプローチする。

また、平成10年度には東京都下水道局の実施工現場にて改良型曲がりボルトセグメントを一部区間に試験導入し、現場での有効性を確認する試験を行う予定である。

一方、前述したように二次覆工省略型に対しても有利であるため、手法や材料について今後検討する他、供回りが無いなど構造的なメリットを生かし、セグメント組立自動化施工への対応についても研究する予定である。

●この研究に関する問い合わせは

研究第二部長	前田 正博
研究第二部主任研究員	佐伯 守久
研究第二部研究員	伊東 良秀
研究第二部研究員	小林 卓矢