シールド工事用標準鋼製セグメントリング間継手の引張挙動について-その１実験的検討

新日本製鐵㈱　建材開発技術部　正会員○榊田　実
住友金属工業㈱　土木･橋梁技術部　正会員　岩橋正佳
石川島建材工業㈱　第一土木技術部　浅野裕輔
川商ジェコス㈱　第２営業本部　小島清美

１．はじめに

シールドトンネルの縦断方向の耐震設計を行なうとき、下水道施設耐震計算例[1)]等は、リング間継手部をモデル化し計算を実施している。しかしこのモデルの実験的検証、特に終局挙動まで考慮した検証事例は皆無である。そこで本報は標準鋼製セグメント[2)]（図-1参照)を対象に、リング間継手部の引張力に対する終局時までの変形･耐荷性能を、実験･数値FEM解析により検証したものである。その1では、実験的検討について報告する。

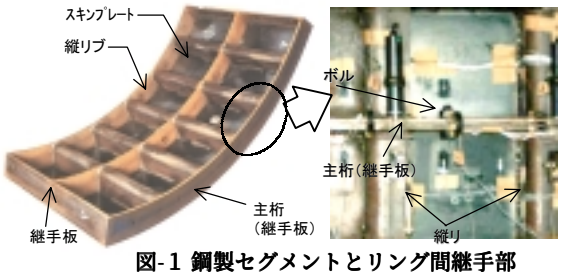

図-1 鋼製セグメントとリング間継手部

２．試験概要

表－１に試験ケースを、表－２に材料強度を、図－２に試験体図を、図－３に等価換算軸引張剛性を示す。試験体は、標準セグメントをリング間で切出したモデルである。片側のピースは、縦リブ2枚、主桁１枚、スキンプレート１枚で構成され、ピース２個をボルト１本で接続したものである。その選定は、 標準セグメント(S1-S102)の軸引張剛性Eaeq-t算定値より、概ね３つのクラスに分類し、この中から中間的な寸法であるクラス２よりS29を抽出した。

表-1　試験ケース

試験ケース	セグメントタイプ	外径 (mm)	主桁高さ (mm)	主桁厚 (mm)	縦ﾘﾌﾞ厚 (mm)	リングボルトピッチ (mm)	ボルト仕様	重量 (kg)
1	S29	2750	100	12	9	332.3	M20(首下55mm)	130
主桁と縦リブの溶接仕様：脚長6mmの片側すみ肉溶接 主桁とスキンプレートの溶接仕様：脚長3mmの片側すみ肉溶接								

表-2　材料強度

部材	鋼種	許容応力度（N/mm²）			降伏点（N/mm2）		引張強度（N/mm²）	
		引張・圧縮	曲げ	せん断	公称値	実測値	公称値	実測値
主桁(t=12mm)、縦ﾘﾌﾞ(t=9mm)、スキンプレート(t=3mm)	溶接構造用圧延鋼材 SM490A	215.0	215.0	125.0	325.0	383.7	490.0	549.0
継手ボルト	六角ボルト (10.9)	―			公称値940.0		公称値1040.0	

３．実験結果および考察

３．１　荷重―変位曲線

表－３に載荷パターンを、図－４に荷重―変位関係図を示す。ここでは 0kNより破壊するまでの載荷パターン４について記述する。荷重70.0kN程度を載荷した時、剛性が低下したものの、荷重138.5kN（変位41.8mm）以降も荷重は増加し続け、試験体の損傷も確認されなかった。荷重200.0kN（変位50.0mm程度）を超えた後、荷重が低下したため載荷を終了したが、このとき上ピースの左側の縦リブと主桁の溶接部が長さ10cm程度破断するとともに、下ピースの左側の縦リブの溶接止端部から主桁の厚み方向6mm程度の範囲まで割れが発生することを確認した。継手引張力に対しクリティカルとなるのは、縦リブと主桁の溶接部となったが、リング間継手部の変位が50mm程度となるまで損傷は確認されず、優れた変形性能を有することを確認した。（図―５参照）

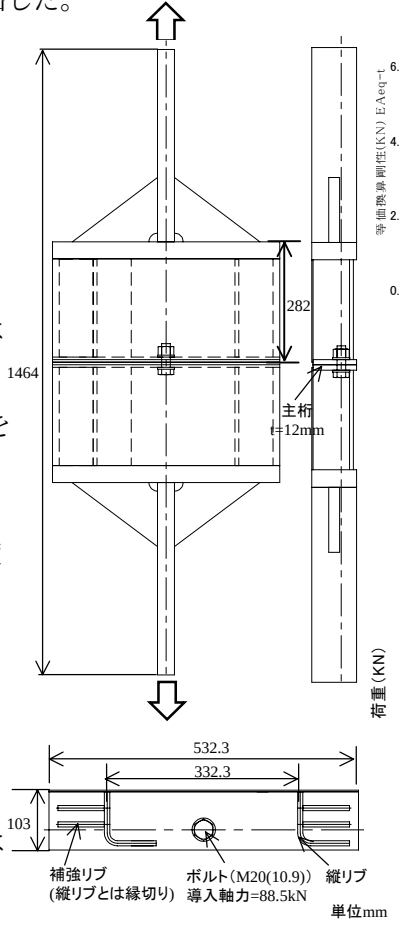

図-2　試験体図

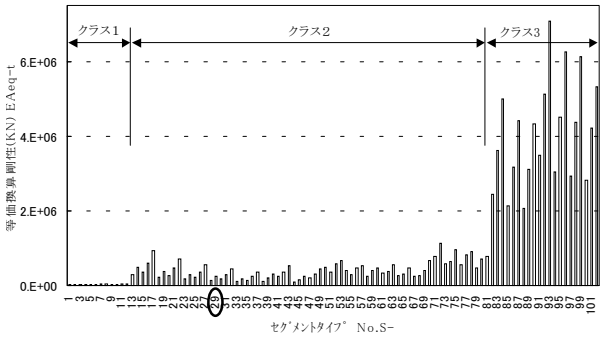

図-3　等価換算軸引張剛性

表-3　載荷パターン

1	0kN – 主桁の許容応力度(計算値) – 0kN
2	0kN –主桁の降伏応力度(計算値) – 0kN
3	0kN –1δy(主桁の降伏応力度(実験値))– 0kN
4	0kN – 破壊

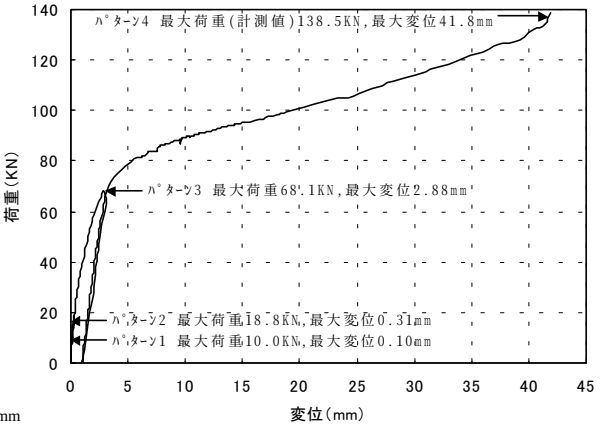

図-4　荷重-変位関係図（変位平均値）

キーワード：シールドトンネル、鋼製セグメント、リング間継手、引張性能、耐震設計、実験
連絡先：〒100-8071 東京都千代田区大手町2-6-3　Tel 03-3275-7764

３．２　主桁の挙動

図－５に終局時変形モードを、図－6に主桁の荷重－歪み関係図を示す。主桁の孔上部長手方向ゲージSUD1が荷重71.6kN時に、続いて孔下部のゲージSUD3が荷重75.7kNに圧縮降伏した。また荷重68.1kN（変位2.88mm,1δy）までは、概ね上下のピースとも左側の縦リブのL型に曲がった部位の先端部と右側の縦リブの平行部を固定端とした部位の間で、曲げ変形を生じ、この荷重以降は、左側の縦リブの平行部付近まで主桁が曲げ変形することを確認した。終局時には、片側上ピースの左側の縦リブと主桁の溶接部が長さ10cm程度の破断、片側下ピースの左側の縦リブの溶接止端部から主桁の母材にかけて割れが生じることを確認したものの、スキンプレートとの溶接部での破断は生じなかった。このことより主桁は、曲げ変形に対し変位50mm程度まで破断せず優れた変形性能を有していることが明らかとなった。

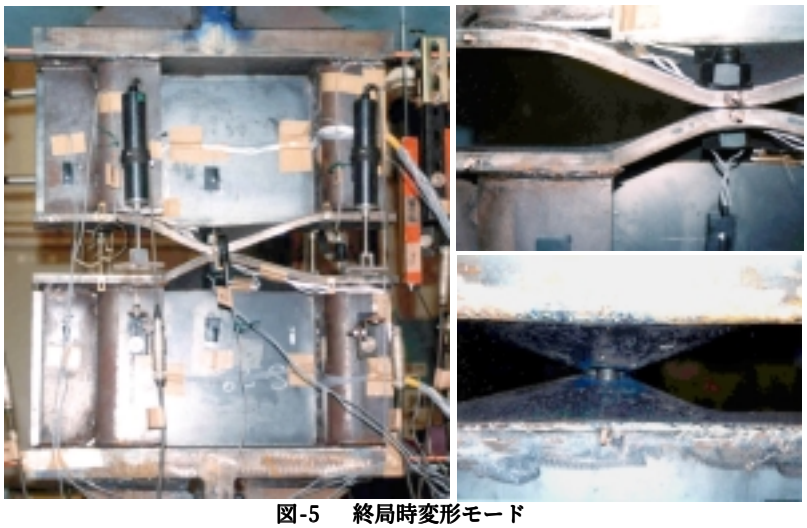

図-5　終局時変形モード

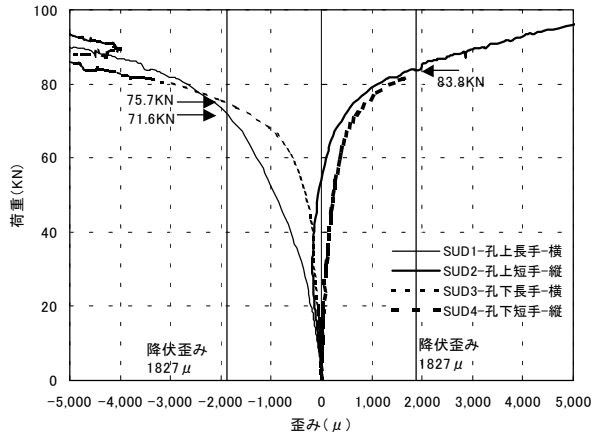

図-6　荷重-歪み関係図（主桁の歪みの平均値(上下ﾋﾟｰｽ)）

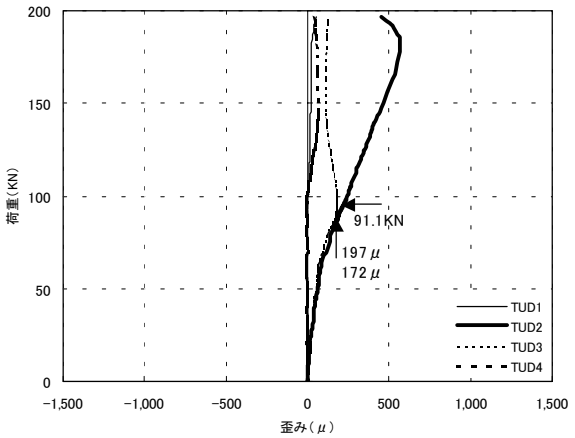

図-7　荷重-歪み関係図（縦リブの歪みの平均値(上下ﾋﾟｰｽ)）

３．３　縦リブの挙動

図－7に荷重－歪み関係図を示す。荷重91.1kNまでは、左側の縦リブの平行部(TUD1)と右側の縦リブのL型に曲がった部位(TUD4)の歪み値はほぼ0であり、左側の縦リブのL型に曲がった部位(TUD2)と右側の縦リブの平行部(TUD3)の歪み値が荷重増加に伴い大きくなった。このことより引張力は、概ね左側の縦リブのL型に曲がった部位と右側の縦リブの平行部で主に負担、つまりリング間に生じる引張力は、縦リブ全断面積が負担していることを確認した。

３．４　ボルトの挙動

図－8に荷重－ボルト軸力関係を示す。パターン１,２の載荷では、初期導入軸力のままであり、除荷後も導入軸力も低下することはなく、てこ反力等の発生荷重は微小であったと考えられる。パターン３の載荷では、主桁降伏により、主桁厚が当初の厚みより薄くなり導入軸力が60.0kNと32%低下した。パターン４の載荷では、主桁の面外変形が進むにつれ、荷重86.9kN以降、引張荷重とボルト軸力が概ね一致し主桁の離間が生じ、ボルトに伸びが生じていることがわかる。

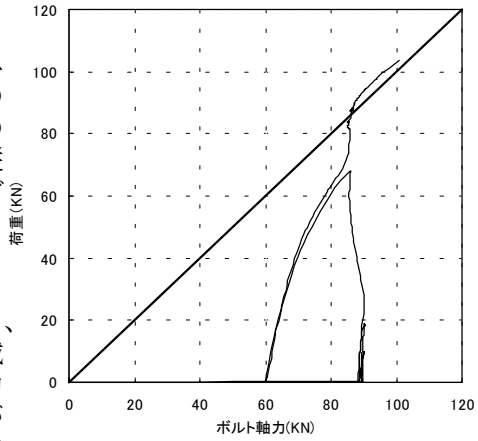

図-8　荷重-ボルト軸力関係図
（ボルトの歪み平均値から求めた軸力）

４．まとめ

1)鋼製セグメントのリング間継手部は、引張力に対し優れた変形性能（=継手目開き50㎜程度でも破壊しない）を有することを確認した。また終局時、主桁と縦リブの溶接部が破断した。このため耐震性を考慮する場合には、主桁厚およびボルト強度に対し、主桁と縦リブの溶接仕様を設計することが必要である。

2) リング間継手に生じる引張力は、縦リブ全断面積で負担されることを確認した。

謝辞：本研究は、鋼製セグメント工業会より受託して行なったものであり、ここに感謝の意を表します。

[参考文献]

1) (社)日本下水道協会:下水道施設耐震計算例 –2001年版-
2) (社)日本下水道協会:シールド工事用標準セグメント 平成13年7月1日