鋼製セグメントのセグメント継手の終局破壊性状

新日本製鐵㈱ 鋼構造研究開発 C 正会員 石田 宗弘 太陽鉄工 第二営業部 品川 弘 石川島建材工業 セグメント技術部 正会員 橋口 彰夫 JFE建材 セグメント技術部 松岡 馨

1.はじめに

従来,主に下水道をはじめとする中小口径トンネルに適用される鋼製セグメントのピース同士を継手板を当 接して引張ボルト接続するセグメント継手部の終局時挙動は十分に確認されておらず,今後の限界状態設計法 への対応上の技術課題ともなっている.セグメント継手の破壊は,通常,軸圧縮力が卓越する円形トンネルで は想定しづらいが,例えば大地震時などに,大きな曲げモーメントが作用して継手目開きを伴った引張力伝達 状況下での可能性が考えられる.そこで,シールド工事用標準セグメントを対象として,実構造仕様の鋼製セ グメント継手部に引張力を作用させた構造実験を実施し,終局時挙動の確認を行ったのでその概要を報告する.

2.実験概要

図 2-1 に試験概要図を示す.試験ケースは 2 ケースとし,同形状の継手部のみを 継手板同士を当接させてボルト接続したものを Case-1,さらに千鳥組み隣接リング の主桁を想定した添接板を供試体両側にリング間ボルトで接続したものを Case-2 とし,両ケースとも組み合わせた供試体端部の主桁高さ中央位置を万能引張試験機 にチャックして反対方向に引張力を作用させて継手部単体及び供用状態における挙 動を確認することとした.供試体の板厚・溶接仕様・ボルト仕様・ボルト取り付け位置 は,社団法人日本下水道協会「シールド工事用標準セグメント」に準拠して決定し た.また,供試体幅については,実構造時(B=750~1200mm)と同様にてこ反力の影 響を伴った継手板の面外変形挙動が発生する必要十分な幅寸法として B=450mm とし



た.図 2-2 に供試体形状図,表 2-1 に 供試体諸元および機械的性質を示す. 接続ボルトには実施工時を想定して, ボルト長期許容応力度(sa=380N/mm²; 土木学会「セグメントの設計」)の 80% 程度に相当する軸力を予め載荷前に導 入した.載荷方法は単調載荷とし,ボ ルトの長期許容荷重,耐力荷重で一度 除荷し,その後,最大荷重まで載荷し た表2-2 に載荷荷重の計算値を示す.



ロードセル・変位計・ひずみゲージ・クリップゲージにより荷重・変位・ひずみ・継手板間の目開き量を計測した.

表 2-1 供試体諸	沅およ び	《機械 的	性質
------------	--------------	--------------	----

部位 寸法	寸法	規格	降伏点また は耐力	引張強さ	伸び
			N/mm2	N/mm2	%
主桁	16mm	SM490	325以上	490 ~ 610	17以上
継手板	16mm	SM490	325以上	490 ~ 610	17以上
スキンプレート	3mm	SM490	325以上	490~610	17以上
ホルト	M20	10•9	940以上	1040以上	9以上
溶接サイス	8mm	主桁と継手板間すみ肉溶接			

衣 2-2 戴何何星計异但									
	ボルト有効断面積		設計強度		ボルト本数	載荷荷重			
長期許容荷重	M20	245	mm ²	380	N/mm ²	2	186	kN	
耐力荷重	M20	245	mm ²	752	N/mm ²	2	368	kN	
耐力荷重時設計強度 = ボルト耐力(940N/mm²)/てこ反力係数(1.25) 載荷荷重 = ボルト有効断面積 × 設計強度 × ボルト本数									

キーワード 鋼製セグメント,セグメント継手,終局挙動,引張ボルト,添接効果 連絡先 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 TEL0439-80-3088/FAX0439-80-2745 〒100-8071 東京都千代田区大手町 2-6-3 TEL03-3275-7277/FAX03-3275-5636

3.実験結果

図 3-1 に載荷荷重と供試体間の相対変位(目開き量)の関係を示す. Case-1 は荷重増加とともに継手板間の目開き量が大きく発生し,セ グメント継手間ボルトのネジ部破断によって最大荷重 434kN (最大変 位 51mm)を記録した.一方, Case-2 は載荷荷重 230kN 辺りから添接 板と供試体の間ですべりが発生しはじめ,430kN辺りでリング間ボル ト軸部とボルト孔とが接触し、リング間ボルト軸部の破断によって最 大荷重 759kN (最大変位 20mm)を記録した.何れの供試体もボルト耐

力計算値を上回る継手伝達性能を示すとともに, 溶接部には亀裂等の破壊性状は観察されなかっ た. 写真 3-1~4 に試験終了後の供試体状況を示 す.Case-1 の継手板には大きな残留変形が発生 しており,セグメント間ボルトの破断まで,継手 部には高い変形追従性能があることがわかる.さ らに,スキンプレート側は,供試体全幅にわたっ て目開きがほぼ均等に発生しているが、反対面側 では,てこ反力の影響を受けて供試体幅中央部で 継手板同士が当接する変形状態が観察されてお り、継手部の引張伝達に対してスキンプレートが 大きく寄与していることがわかる.一方,供用時

の千鳥組みを想定した Case-2 では,供試体側部の 添接板およびリング間ボル 荷重P(kN) トの影響で継手板間の目開 きは大きく発生していない.

図 3-2 に載荷荷重とセグ メント間およびリング間ボ ルト (Case-2のみ) の軸ひ





Case-1 (スキン PL 側) 写真 3-2 Case-1 (スキン PL 反対側) 写真 3-1





ずみ(対象ボルト平均値)の関係を示す.Case-1では,ボルト規格耐力計算値(ボルト耐力、,/ヤング率 E。) を大きく上回るボルト軸ひずみが発生している.一方,Case-2 では,ボルト軸ひずみの最大値はボルト規格 耐力計算値の 75%程度に留まるとともに,リング間ボルト軸部とボルト孔との接触後は,リング間ボルト軸 ひずみが急激に増加しており,作用力がリング間ボルトを介して添接板へ伝達していることがわかる.図 3-3 にボルト耐力荷重時(368kN)における継手板内面側の主ひずみ発生状況を示す.継手板は圧縮ひずみの発生 状況からセグメント幅方向への面外変形が卓越することがわかる,また,Case-2のひずみ量はCese-1のひず み量の約1/10程度であり,添接板の効果によって負担量が大きく減少する結果となっている.

写真 3-3

4.まとめ

以上のことから,供用時の千鳥組み状態では,作用力がリング間ボルトを介して隣接リングへと分散され, 継手板をはじめとする鋼殻部・セグメント継手間ボルトさらには溶接部の荷重負担は軽減される、千鳥組みを 想定したシールド工事用標準セグメント仕様によるセグメント継手本体は,先行して破壊することはなく,最 終的には隣接するリング間ボルトが破断して終局破壊状態を迎える.