

前田建設工業技術研究所 正員 青山菊男
 “ “ 横沢和夫

1. はじめに

近年都市部で頻繁に採用されているシールド工事の一次覆工には、セグメントを使用することが多い。このセグメントは、工事費全体に占める割合が大きいことから、各方面でセグメントの技術及び経済面の向上を目指して盛んに研究が行なわれている。

現在剛性一様なリングとして設計されているセグメントは、その構造上継手を設けることが不可避であり、継手面の剛性低下を千鳥組によって補っているのが実状である。最近では経済的及びより実際に近い設計方法という観点から、①多ヒンジリングと抵抗土圧による方法 ②継手部に回転バネを導入する方法 ③曲げ剛性の有効率と曲げモーメントの割増率を導入する方法 等が提案されているが実用化されるまでに至っていない。これらの諸提案を実用化するためには、数多くの実験を繰返し裏付けを行なう必要がある。

そこで今回ダクタイル鋳鉄セグメントを使用して実物大載荷試験を行ない、応力と変位測定から継手効率を検討した。

2. 試験方法及び経過

試験は次の2種類について行なった。

④試験 B+K+Bの両側にBセグメントの半分のものを添接した試験体

⑤試験 B+K+Bのみで添接セグメントの無い試験体

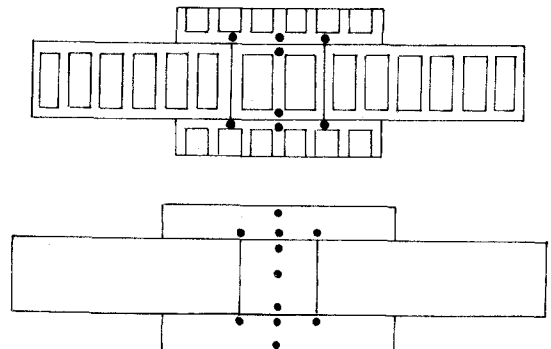
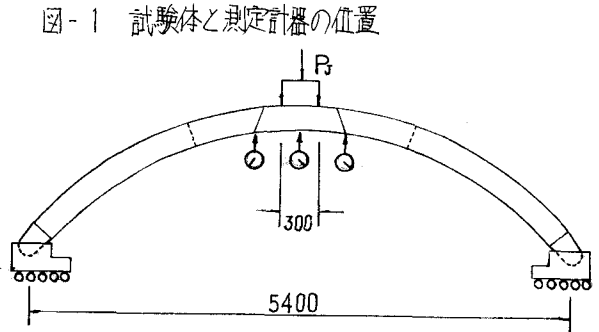
試験用載荷ピットにセグメントをセットし、継手ボルトを6000 kg・cmトルクで締め付けた後、試験用ジャッキで載荷を行なった。そして各荷重段階ごとの歪みをワイヤストレンゲージで、変位を橋梁型変位型で測定した。歪みゲージ及び変位計の位置を図-1に示す。

添接セグメントを付けた④試験は、最終荷重63tonにおいて本体と添接セグメントを繋いでいるボルトがせん断破壊した。

添接セグメントの無い⑤試験は、最終荷重33.5tonにおいて継手板が大きく変形し、ボルトに破断寸前の引張応力が発生し、荷重があがらなくなり試験を終了した。

3. 試験結果

試験結果として、荷重-変位曲線を図-2に、荷重-歪み曲線を図-3に示す。



○ 変位計
 ● ストレンゲージ

図-2 荷重-変位曲線

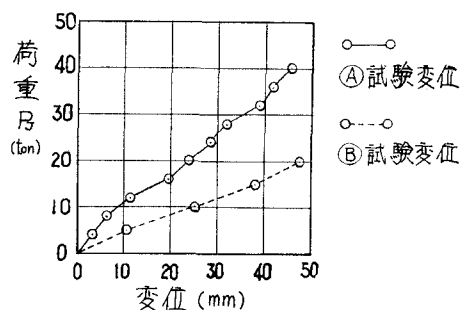
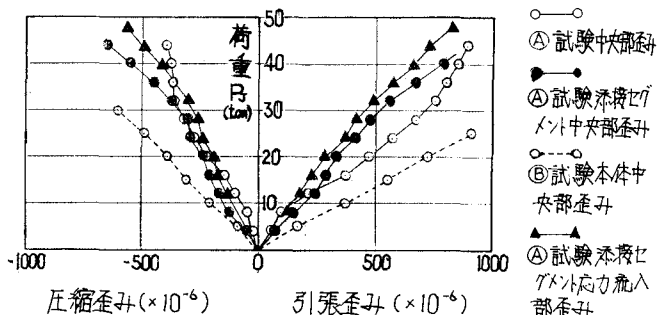


図-3 荷重-歪み曲線



4. 継手効率についての考察

(1) 変位測定からの分担率

③ 試験						④ 試験					
荷重 P_j	継手を剛とした弾性変位 δ_{cl}^*	測定変位 δ_c	継手の開口による変位 $\delta_{c2} = \delta_c - \delta_{cl}$	全体のモーメント M_{0B}	回転バネ定数 $K = \frac{M_{0B} L}{4 \delta_{c2}}$	荷重 P_j	δ_{c2}	本体のモーメント $M_1 = K \delta_{c2} L$	全体のモーメント M_{0A}	添接セグメントのモーメント $M_2 = M_{0A} - M_1$	分担率 M_2/M_{0A}
5 ton	0.00286 ^m	0.01023 ^m	0.00737 ^m	5.5 t·m	1000 t·m	4 ton	0.001708 ^m	1.265 t·m	4.4 t·m	3.135 t·m	71 %
10	0.00571	0.02426	0.01855	11.0	800	12	0.00763	4.522	13.2	8.678	66
15	0.00857	0.03687	0.02830	16.5	800	20	0.01719	10.187	22.0	11.813	54
20	—	—	—	—	—	32	0.02614	15.488	35.2	19.712	56
25	—	—	—	—	—	40	0.02718	16.107	44.0	27.893	63

$$* \delta_{cl} = PR^3/EI \left\{ \theta_1 \sin^2 \theta_1 - \sin \theta_1 + \sin \theta_2 - \sin \theta_1 \cos \theta_2 + \frac{3}{4} \sin 2\theta_1 - \frac{1}{2} \sin 2\theta_2 - \theta_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2 + \frac{1}{2} (\theta_1 - \theta_2) \right\}$$

③試験から回転バネを算定し、④試験における本体のモーメントを求めた。荷重4 tonの場合に1000 t·m
それ以外は800 t·mのバネ定数を使用した。

(2) 歪み測定からの分担率

荷重 P_j	添接セグメント			全体のモーメント M_0	分担率 M_2/M_0	
	圧縮歪み ϵ_1	引張歪み ϵ_2	添接セグメントのモーメント M_2			
4 ton	-60	64	-124	2869 t·m	4.4 t·m	65%
12	-133	187	-320	7405	13.2	56
20	-192	287	-479	11,084	22.0	50
32	-302	495	-797	18,443	35.2	52
40	-425	662	-1087	25,153	44.0	57

E_c E_e E_c
 曲げモーメント 軸力 合力
 E_c E_e E_c
 E_e E_e E_e

$E_t = \frac{Z_c}{Z_t} \times (-E_c)$ $Z_c = 3594 \text{ cm}^3$ $Z_t = 2998 \text{ cm}^3$
 $= \frac{3594}{2998} \times (-E_c) = -1.64 E_c$
 $E_1 - E_2 = (E_c + E_e) - (E_t + E_e) = 2.64 E_c$
 $M_2 = E E_c Z_c = 1.7 \times 10^4 \times \frac{E E_c}{2.64} \times 10^{-6} \times 3594 = 23/4 (E - E_2)$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{Z}{Z_t} \times (-\epsilon_c) & Z_c &= 3594 \text{ cm}^3 & Z_t &= 2198 \text{ cm}^3 \\ &= \frac{3594}{2198} \times (-\epsilon_c) & & & & \\ &= -1.64 \epsilon_c \\ \epsilon_1 - \epsilon_2 &= (\epsilon_c + \epsilon_o) - (\epsilon_t + \epsilon_o) = 2.64 \epsilon_c \\ M_2 &= E \epsilon_c Z_c = 1.7 \times 10^6 \times \frac{E \epsilon_c}{2.64} \times 10^{-6} \times 3594 = 23/4 (E \epsilon_c) \end{aligned}$$

以上継手効率を曲げモーメントの分担率として、変位及び歪み測定から考察した。

5. 結言

今回の試験では変位及び歪み測定から算定した添接セグメントに流れるモーメントの割合は、約50~60%であった。この数字は現在セグメントの設計にしばしば使用されている20~30%を大きく上回っている。このことは継手断面を現在よりシンプル機構にすることが可能であることを示唆していると考えられる。

なおこの報告は、国鉄東京第一工事局の依頼により行なったセグメントの継手強度に関するもので、実験解析に際しては、御当局の御指導をいただいたことを感謝します。

《参考文献》

「セグメントの設計と施工に伴う諸問題」山本総 インストラクション VOL10 NO12 「地下鉄トンネル利用セグメントの継手特性」中村隆 土木学会