

大型スチールセグメント継手部の挙動 第1報 継手剛性が変形に及ぼす影響

住友金属 正員 士堅 秀, 正員○山川純雄
同 正員 井上 肇

1. まえがき

地下鉄, 上下水道, 通信ケーブルおよび配管などのシールド工事に用いられるスチールセグメントは, 剛性一様なリングと考えて設計される。しかしセグメント覆工の円周方向継手(セグメント継手)は, いわゆる引張ボルト接合で剛継手でないことはよく知られている。このセグメント継手の剛性不足を補なうため, 現場施工では隣接リングのセグメントピースと千鳥になるよう組立てられるが, 継手剛性がリングの変形や断面力に及ぼす影響については不明な点が多い。

本報告では, 実大部分模型実験により継手部の力学挙動を検討した結果のうち, 継手剛性とこれがリングの変形に及ぼす影響について報告する。

2. 実験内容

供試体は, S S 4 1 からなる大型スチールセグメント(8580φ)実大部分模型で, その形状寸法を図1に示す。載荷方法は図1, 2に示すように2点対称載荷とした。図2は供試体の支持条件及び接合条件を示すもので, 左肩 α はテスト番号をあらわす。テスト α ①, ④, ⑥, ⑧は単純支持で継手位置(アーチクラウン)には軸力が作用しない。他方, テスト③, ⑤, ⑦, ⑨は支点水平変位を拘束する水平ばね(地盤の抵抗土圧 $\approx 2.3 \text{ kg/cm}^2$ に相当)を付加し, 継手部に軸力 $N=H$ と正の曲げモーメント($M=M_0-Hf$)を作用させたものである。

3. セグメント継手の剛性

継手に軸力が作用した場合としない場合の継手剛性は異なる。これらを実験から求める方法を述べる。テスト①~⑤が継手剛性を求める実験である。これらの実験で得られる荷重 P とクラウンのたわみ v_c との関係($P-v_c$ 曲線)から比例定数 $k_i=P/v_{c1}$ (添字1はテスト番号)が求まるので, 継手の曲げモーメントに対する回転ばね定数 $K_i=\frac{M}{\theta_i}$ (θ_i は継手の回転角)は次式

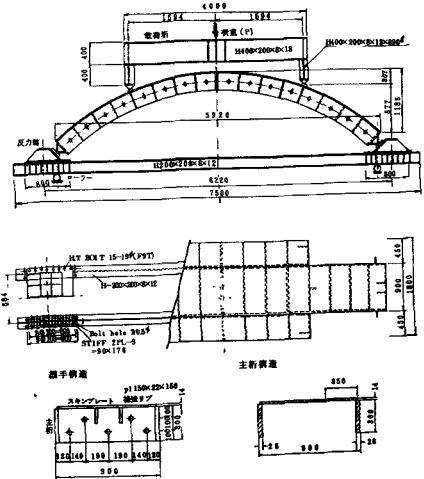


図1 供試体及び水平拘束治具

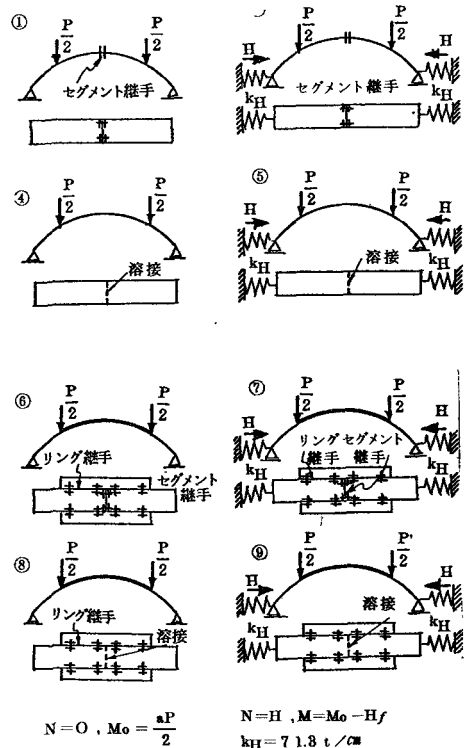


図2 テストケース(テスト②は欠番)

で与えられる。

$$\text{単純支持の場合}(N=0) \quad K_1 = \frac{a\ell}{4} \cdot \frac{k_1 \cdot k_4}{k_4 - k_1} \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{支点水平拘束の場合}(N=H) \quad K_3 = \eta \cdot \frac{a\ell}{4} \cdot \frac{k_3 \cdot k_5}{k_5 - k_3} \quad \dots\dots(2)$$

$$\eta = 1 - 2fH/aP$$

ここに a = 支点と荷重作用点間の距離, ℓ = スパン長, f = ライズ, H = 水平反力 = $k_H u_s$

この k_1, k_3 より継手の等価断面 2 次モーメント I_{e1} は次式で与えられる。

$$I_{e1} = \frac{K_1 \ell_B}{2E} \quad (i=1, 3) \quad \dots\dots(3)$$

ここに ℓ_B = ボルトのグリップ長, E = ヤング率
 k_1, K_1, I_{e1} を表 1 に示す。表 1 から明らかなように軸力 ($N=H \approx 0.45P$) が作用した場合の継手剛性は, $N=0$ のときの約 1.3 倍となっている。しかし $N=H$ の場合の I_{e3} とセグメントピース本体の断面 2 次モーメント I_0 を比べると, $I_{e3}/I_0 = 1/14 \sim 1/15$ となっている。

4 継手剛性が変形に及ぼす影響

セグメント継手が存在することによる変位への影響をみるため $P=100$ トン ($P=100$ t の実験値は比例換算) に対するクラウン及び荷重点のたわみ v_c, v_p および支点水平変位 u_s の実験値, 計算値, (実)/(計) を表 2 に示す。また継手剛性をパラメータにとり, 変形量の変化の様子を示したのが図 3 (計算値) である。これらより (1) $N=0$ のときの変形は大きい, $N \neq 0$ の場合の変形は継手なしの場合とほぼ同一である。(2) サイドセグメントを添接すると $N=0$ のときでも変形は著しく減少し, $N \neq 0$ と大差がない。

なお, 継手剛性を考慮した構造解析は直接剛性マトリックス法によった。

表 2 変位の実験値と計算値の対比 ($P=100$ トン)

テストNo.	鉛 直 変 位 v_c			鉛 直 変 位 v_p			水 平 変 位 u_s		
	実験値	計算値	(実)/(計)	実験値	計算値	(実)/(計)	実験値	計算値	(実)/(計)
1	14.38	13.116	1.096	6.840	6.343	1.078	7.72	5.367	1.438
3	1.178	1.273	0.925	0.754	0.890	0.847	0.721	0.654	1.102
4	3.091	3.628	0.852	2.014	2.354	0.856	1.908	1.808	1.053
5	1.065	1.203	0.885	0.739	0.895	0.826	0.670	0.637	1.052
6	2.952	2.823	1.046	1.972	1.861	1.060	1.976	1.402	1.409
7	0.958	1.071	0.894	0.699	0.820	0.852	0.651	0.588	1.107
8	2.230	2.364	0.943	1.582	1.681	0.941	1.450	1.241	1.168
9	0.923	1.046	0.882	0.687	0.815	0.843	0.617	0.582	1.060

(単位 cm)

表 1

テスト番号	継手軸力 N	k_i (t/mm)	K_i (t·m/rad)	I_{ei} (cm^4)
1	0	0.69	1391	146
4	"	3.24	—	(27,658)
3	H	8.48	172×10^3	1,908
5	"	9.34	—	(27,658)

() 内数値はセグメントピース 1 体当りの断面 2 次モーメント

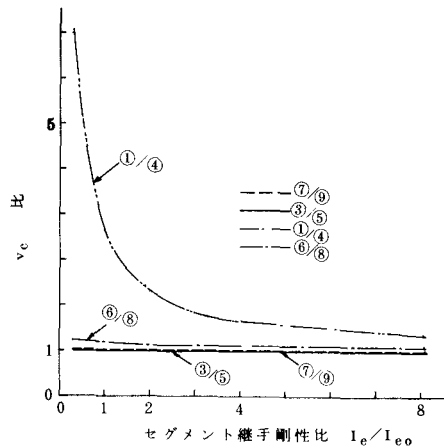


図 3 変位に及ぼす継手剛性の影響