

日本鋼管(株) 正 小泉幹男
建設省土木研究所 正 栗林栄一
正 羽立隆幸

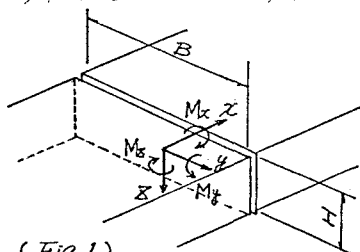
1) はじめに

最近、沈埋トンネルの可接続継手が耐震に有利であるばかりではなく、不均衡下や温度変化による変形等も吸収できる為に、施工継手として用いられているゴムカスケットの可接続性を利用した継手構造が考えられており、実際に採用されている。また、地震応答解析および応答変位法による耐震設計に際しては、継手部の可接続性能を線形なバネに近似して評価している。

本報告では、上記のことを踏まえて、継手部材としてのゴムカスケッドならびにゴムカスケッドとP-Cカーブとを組合せた場合について、継手バネを評価した。

2) ゴムカスケッドのみの可接続性とバネ評価

ゴムカスケッドの動的と静的可接続性の差異は、これまでの実験ではそれ程認められず、ほぼ静的な可接続性能を考慮してよいとの結論を得ている。又、圧縮特性ならびにせん断特性については、部分模型実験結果から容易に推定しうると考えられ、ここでは特に曲げ特性について述べる。(座標系は Fig.1 のとおりである)



(Fig.1)

継手部外周にあるゴムカスケッドは、回転角変位 θ が与えられると、圧縮量が直線的に与えられ、この圧縮反力による抵抗モーメントが働く。ゴムカスケッドの圧縮特性は (Fig.2) に示すように変位(歪)硬化型を示しており、近似的に次式のように表わすことができる。

$$p = \alpha \delta^\beta \quad (1) \quad \left(\begin{array}{l} \alpha, \beta \cdots \text{任意定数で実験より求める} \\ p \cdots \text{単位長当りの圧縮力} \quad \delta \cdots \text{圧縮量} \end{array} \right)$$

継手部に曲げが作用した場合、ある圧縮量 δ_0 (例えば、水圧による圧縮量) を基準として圧縮あるいは伸張するが、前述のように非線形な圧縮特性を有する為に、継手部全体の曲げに対する中立軸が中心からずれる。中立軸位置 $\bar{x}$ は、力の釣り合いより次式によって求められる。(Fig.3)

$$2\delta_1^{\beta+1} + B\delta_1^\beta + B\delta_1^\beta - 2\delta_1^{\beta+1} - 2(\beta+1)\delta_0^\beta(B+H) = 0 \quad (2)$$

$$\text{但し } \bar{x} = (\delta_1 - \delta_0)/\theta, \quad \delta_1 = \delta_0 + \theta \cdot H$$

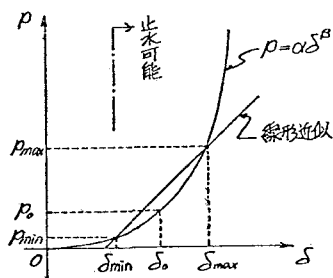
又、この時の曲げモーメント (M) は次式により求める。

$$M_y = \frac{2\alpha}{(\beta+1)\theta_y} \left\{ \delta_1^{\beta+1} \cdot \bar{x} - \delta_1^{\beta+1} \cdot (H - \bar{x}) \right\} - \frac{2\alpha}{(\beta+1)(\beta+2)\theta_y^2} (\delta_0^{\beta+2} - \delta_1^{\beta+2}) - \alpha \delta_0^\beta (2XH - \bar{x}^2) + \alpha B \left\{ \delta_1^\beta \cdot \bar{x} - \delta_1^\beta (H - \bar{x}) \right\} \quad (3)$$

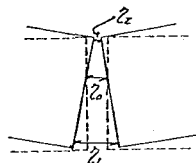
一方、近似的にゴムカスケッドの圧縮特性を線形とした場合は、次式のように求められる。

$$M_y^* = \frac{\alpha}{\theta} H(H+3B) \left\{ \left(\delta_0 + \frac{H}{2}\theta_y \right)^\beta - \left(\delta_0 - \frac{H}{2}\theta_y \right)^\beta \right\} \quad (4)$$

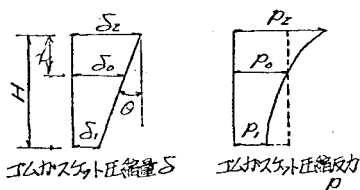
よって、回転バネ定数 $K_{\theta y}$ は次式により算定できる。



(Fig.2) ゴムカスケッドの圧縮特性



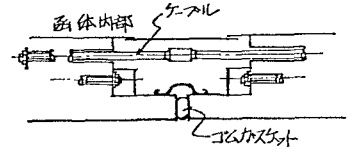
継手部変位 θ



(Fig.3)

$$K_{\theta\theta} = M_{\theta} (\text{又は } M_{\theta}^0) / \theta \quad \dots\dots\dots (5)$$

尚、Z軸まわりの回転バネ定数 $K_{\theta\theta}$ も同様にして求められる。

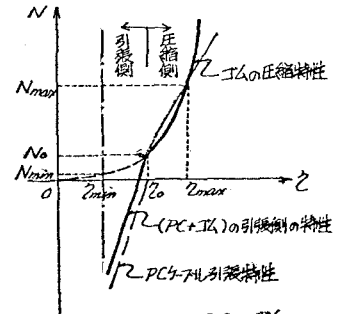


(Fig. 4) 可撓継手構造概略図

3) ゴムカスケットとPCケーブルの組合せによる可撓継手のバネ評価

実際の可撓継手構造は、止水性能を損なわないように、ゴムカスケットのみではなく、異種材料(PCケーブル、鋼板等)の組合せが提案されている。ここからは、近年採用されているPCケーブルとの組合せによる可撓継手の可撓性能、特にケーブルの影響の大きい曲げ特性及び回転バネ定数の評価について考える。(Fig. 4)

継手部の軸力(N)、相対変位(δ)との関係は(Fig. 5)に示すように、初期設定変位 δ_0 を中心に圧縮側・引張側と異なる。これは、圧縮に対してはPCケーブルは何ら抵抗せず、ゴムカスケットの圧縮反力が抵抗し、又、引張側に対してはPCケーブルの張力及びゴムカスケットの圧縮反力が影響を与えることを示している。そこで、継手部に曲げ変位が与えられた時の回転バネ定数 $K_{\theta\theta}$ を上記のことを考慮に入れて求める。



(Fig. 5) PC+ゴムの軸方向特性

継手部断面を(Fig. 6)のように簡略化して考え、中立軸位置(X)を求める。

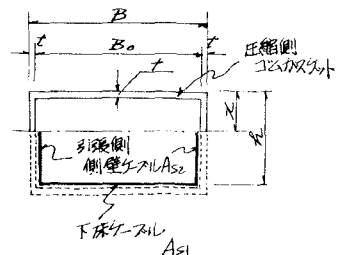
$$\left\{ \left(\delta t - \frac{n A s_2}{k} \right) X^2 + \delta \left\{ B_0 t + n (A s_1 + A s_2) \right\} X - \left\{ B_0 t^2 + n k (Z A s_1 + A s_2) \right\} \right\} = 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

よって、断面Zのモーメント I_y^* は次式のように表わされる。

$$I_y^* = \frac{1}{3} \left\{ B X^3 - \delta t (X - t)^3 \right\} + n A s_1 (k - X)^3 + \frac{n A s_2}{3k} (k - X)^3 \quad \dots\dots\dots (7)$$

回転バネ定数 $K_{\theta\theta}$ は、次式により求まる。

$$K_{\theta\theta} = M_{\theta} / \theta_y = \frac{\sigma_y \cdot I_y^*}{X} / \frac{\delta_y}{X} = k_g \cdot I_y^* / t \quad \dots\dots\dots (8)$$



(Fig. 6) 簡略化した断面

但し k_g ゴムカスケットの単位長さ当りの圧縮バネ定数

$n = k_c / k_g$ 換算係数 σ_y ゴムカスケットの圧縮応力

4) まとめ

実験結果及び解析結果より、可撓継手部のバネ評価をまとめると次の表のようになる。

ゴムカスケットのみ	ゴムカスケット + PCケーブル
- 圧縮バネ定数 K_{cc} $K_{cc} = 2 \cdot k_g (B + H) = 2 \alpha (B + H) \cdot \frac{\delta_{max}^B - \delta_{min}^B}{\delta_{max} - \delta_{min}}$ - せん断バネ定数 k_g, K_g $K_g = 2 (k_1 H + k_2 B), K_g = 2 (k_1 B + k_2 H)$ - 回転バネ定数 $K_{\theta\theta}, K_{\theta\theta}$ $K_{\theta\theta} = \frac{2 \alpha}{(\delta_{min}^B)^2} \left\{ \delta_{cc}^B X - \delta_{cc}^B (H + X) \right\} - \frac{2 \alpha}{(\delta_{min}^B)^2} \left\{ \delta_{cc}^B X - \delta_{cc}^B (H + X) \right\}$ $- \alpha \delta_{cc}^B (2Z H - H^2) + \alpha B \left\{ \delta_{cc}^B X - \delta_{cc}^B (H + X) \right\}$	- 圧縮バネ定数、せん断バネ定数は、左記のゴムのみと同様となる。 - 引張バネ定数 K_{xt} $K_{xt} = \frac{EA}{L} - 2 k_c (b + k)$ - 回転バネ定数 $K_{\theta\theta}, K_{\theta\theta}$ $K_{\theta\theta} = \frac{k_g}{3} \left\{ B X^3 - \delta t (X - t)^3 \right\} + \frac{k_c}{k} A s_1 (k - X)^3 + \frac{k_c}{3k} A s_2 (k - X)^3$

k_g ゴムカスケットの単位長さ当りの圧縮バネ定数

k_c ゴムカスケットとPCケーブル組合せた場合の引張側のバネ定数

k_1 ゴムカスケットの単位長さ当りの横せん断バネ定数

k_2 ゴムカスケットの単位長さ当りの縦せん断バネ定数

E PCケーブルのヤング率

A PCケーブルの断面積

L PCケーブル長

尚、実験結果及び計算例については、当日発表する予定である。