

I - B77

免震用波形鋼板の発生応力の検討

早稲田大学大学院 学生員 加藤 さやか

早稲田大学 フェロー 清宮 理

1.はじめに

沈埋トンネルの継手部に波形鋼板（ベローズ管）が提案されている。この鋼板は沈埋函同士の接合部に二重に取付けられる。従来の柔継手はゴムガスケットとP Cケーブルで製作されているが、この波形鋼板は従来の継手構造よりも大きな変形能力を有し、大規模な地震や軟弱地盤の沈下に対応できる。本研究ではこの鋼板に発生する応力を検討するために、地震時を想定した荷重を断面力として伝達機能と破壊性状を繰り返し静的載荷実験により調べた。さらに、その載荷実験結果と既往の2種類の設計式による計算結果、および材料非線形性を考慮した有限要素法による解析結果とを比較検討した。

2.既往の設計式

現在配管に設けるベローズ形伸縮管（波形鋼板）継手の応力算定方法には、EJMA の式と Kellogg の式の2種類が用いられている。

$$[\text{EJMA}] \quad Sf = \frac{\delta \cdot E \cdot t(a+r)}{8n \left\{ \frac{a^3}{3} + r \left(\frac{\pi}{2} a^2 + \frac{\pi}{4} r^2 + 2ar \right) \right\}} \quad (1) \quad [\text{Kellogg}] \quad Sf = \frac{0.75\delta \cdot E \cdot t}{(0.5q)^{0.5} W^{1.5}} \quad (2)$$

ここに、 Sf : 伸縮による応力 (N/mm²)、 δ : 軸方向1山当りの伸縮量 (mm)、 E : 材料の弾性係数 (N/mm²)、 t : 板厚 (mm)、 a : 平板部の幅の $1/2$ (mm)、 r : 円形部の半径 (mm)、 q : 山のピッチ (mm)、 W : 山の高さ (mm)、 n : 山数である。また、ばね定数の算定方法についてはASMEの式とKelloggの式が用いられている。

$$[\text{ASME}] \quad K = \frac{1.7E \cdot d_p \cdot t_p^3 \cdot N}{W^3 C_f} \quad (3) \quad [\text{Kellogg}] \quad K = \frac{2E \cdot d_p \cdot t_p^3 \cdot N}{3(0.5q)^{0.5} W^{2.5}} \quad (4)$$

ここに、 K : 1山当りのばね定数 (N/mm/山)、 d_p : 管の平均径 (mm)、 t_p : 計算板厚 (mm)、 N : 層数、 C_f : 補正係数であり、 $d_p = d + W$ 、 $t_p = (d/d_p)^{0.5} t$ である。

3.載荷実験

3.1 実験方法 供試体は図-1に示すように鋼板をプレスにより加工したもので、3波の直線部分と半円部分とで構成されている。材質はSM490Y、板厚は14mmで曲線部分の半径は42mmである。供試体の断面寸法は実物大で、奥行きは250mmである。波形鋼板と取付部分の鋼板は溶接により固定されている。

載荷実験のケースを表-1に示す。載荷実験は油圧ジャッキによる変位制御とした。圧縮側と引張側で最大変位の値が異なるのは油圧ジャッキの性能によ

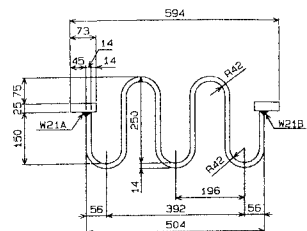


図-1 供試体

表-1 載荷実験ケース

ケース	方向	変位	回数
1	引張	+500 mm	なし
2	圧縮	-200 mm	なし
3	片振幅	+40~0 mm	10
4	片振幅	-40~0 mm	10
5	両振幅	±40 mm	10
		±80 mm	10

る。この波形鋼板の地震時の設計振幅は±40mmであり、繰り返し回数は大規模な地震（レベル2）での主要動の波数を想定した。計測項目は波形鋼板の変形とひずみおよび載荷荷重である。

3.2 実験結果 載荷実験後の変形状態を図-2 および図-3に示す。圧縮載荷の終局時には隣接する円形部が接触した。写真からもわかる通り、この波形鋼板は大変形性能を有しており、載荷実験後の浸透探傷試験に

キーワード：波形鋼板、載荷実験、FEM、沈埋トンネル

連絡先：〒169 新宿区大久保 3-4-1 51号館 16階（清宮研） Tel, Fax : 03-5286-3852

よると、取付部（溶接部）や曲線部に亀裂は見られなかった。

また、図-4 および図-5 に示すように繰り返し载荷によって載荷サイクル毎の履歴特性に変化は見られなかった。

4. FEM 解析

解析は先に行われた供試体をモデルとし、SHELL 要素を用いて汎用プログラム SOLVIA による有限要素法解析を行った。材料特性は材料非線形性を考慮し、応力ひずみ関係はマルチリニャーとした。また、載荷実験で用いた供試体の工場製作による初期不整を考慮した。

5. 実験値と計算値との比較

載荷実験での実験値と設計式による計算値および FEM 解析値の比較を行った。比較を行った荷重・変位関係を図-6 に、ひずみ・変位の関係を図-7 に示す。ひずみの値は波形鋼板の山の頂部の曲げひずみを表示した。またそれぞれのばね定数を表-2 に示す。式(3)および(4)の鋼板のばね定数の算定では管の外径の値が必要とされるが、沈埋函の長方形断面を等価な面積の円形に置換し外径を求めた。ばね定数は沈埋トンネルの断面力を計算する地震応答計算での重要な入力データとなる。表-2 より、載荷実験値、設計式による計算値、FEM による解析値ともほぼ同様な値のばね定数を得ることができた。

弾性域での応力（ひずみ）については、計算値および解析値の中で Kellogg の式が最も実験値に近い値であり、EJMA の式が一番安全側の値を与えた。FEM 解析値は両者の中間となった。降伏ひずみを超えると3者はかなり大きく異なってきた。

6. まとめ

波形鋼板は設計荷重に対して十分な変形性能と耐力を有していた。また、繰り返し载荷に対して変形は進行せず、安定した履歴特性を得た。波形鋼板の設計式では、鋼材の弾性域で Kellogg の式が比較的良好な実験結果と一致していたが、EJMA の式が安全側の値を与えた。ひずみが大きくなると、設計値、FEM の解析値と実験値とは大きく異なった。

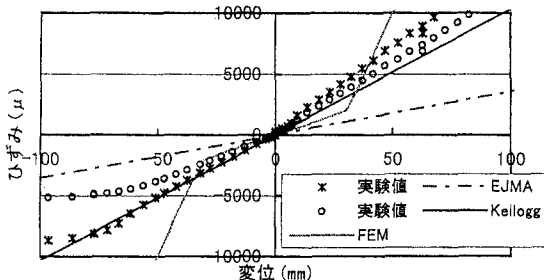


図-7 ひずみ・変位関係

参考文献：1) 清宮理・河野博通・加藤さやか：波形鋼板を用いた沈埋トンネルの柔継手の効果，構造工学論文集 Vol.45A, pp793-800, 1999.3.

2) JIS ハンドブック，ペローズ形伸縮管継手



図-2 変形状況（引張）



図-3 変形状況（圧縮）

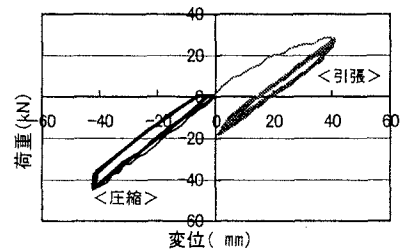


図-4 荷重・変位曲線（片振幅）

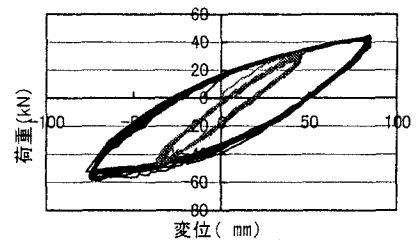


図-5 荷重・変位曲線（両振幅）

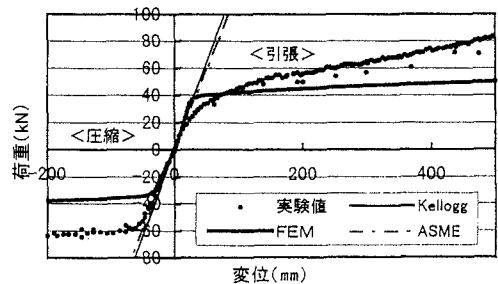


図-6 荷重・変位関係

表-2 実験値と計算値および解析値の比較

	実験値	ASME	EJMA	Kellogg	FEM
ばね定数 (kN/mm)	1.04	1.17		1.28	0.97
ひずみ × δ mm (μ)	95.0		36.0	103.0	65.0