

早稲田大学大学院 学生員 加藤 さやか

早稲田大学大学院 学生員

河野 博通

早稲田大学

学生員 中野 圭崇

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ベローズ管が提案されている。このベローズ管は沈埋函同士の接合部に二重に取り付けられる。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、このベローズ管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。本研究ではこのベローズ管にせん断力が加わった際に発生する応力を検討するために、伝達機能を静的載荷実験により調べた。さらにその実験結果と既往の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FEMによる解析結果とを比較検討した。

2.載荷実験

載荷実験の概要を図-1に示す。供試体は図-2に示すものを2体で1組とし、供試体2体の間に取り付けたH形鋼を2台の油圧ジャッキでせん断方向に静的載荷を行った。また、ジャッキ4台で軸方向の載荷および供試体の固定を行った。供試体は鋼板をプレスにより加工したもので、ベローズ管断面は矩形、波形の断面は直線部分と5つの半円部分で構成されている。

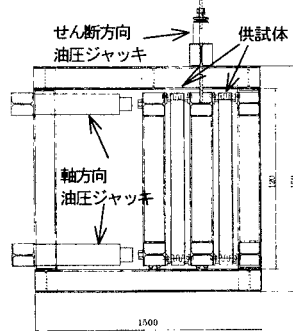


図-1 載荷状況 (単位 mm)

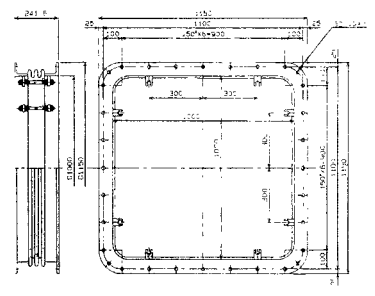


図-2 供試体 (単位 mm)

材質はSPHC、板厚は1.6mmで波形の半円部分の半径は8.2mmである。供試体と実物の継手とは十分な縮尺関係がなされていないが、約1/10程度の縮尺と考えるとよい。

載荷実験のケースを表-1に示す。ケース1, 2は、軸方向に初期変位を与えた状態でせん断方向に弾性域内の単調載荷を行った。ケース3は軸方向に初期変位を与えずにせん断方向に片振幅載荷を行った。載荷は油圧ジャッキによる変位制御とした。

表-1 載荷ケース

ケース	初期軸方向変位(全体)	せん断方向変位	繰返し回数
1	+2, 2.5, 4, 6 mm (引張)	弾性域内 (~0.5 mm)	なし
2	-2, 2.5, 4, 5, 6 mm (圧縮)	弾性域内 (~0.5 mm)	なし
3	0 mm	0~0.5 mm	10回

3.FEM解析

解析は実験供試体をモデルとし、汎用プログラムSOLVIAによるFEM解析で行った。材料特性は材料非線形性を考慮し、応力ひずみ関係をバイリニヤーとした。要素はSHELLを用いた。

4.既往の設計式

現在、配管に設けるベローズ式伸縮管継手の伸縮による応力とばね定数の算定方法には、Shell理論から誘導されたEJMA (Expansion Joint Manufacturers Association) の式と、梁の組み合わせモデルから誘導されたKellogg社の式の2種類が主に用いられている¹⁾。これらの設計式より、実験供試体について応力とばね定数の計算を行った。

5.実験結果 5.1 繰返し載荷

図-3にケース3の繰返し荷重変位曲線を示す。10回の繰返し載荷を行っても履歴特性に変化は見られなかった。また、ひずみ量の進行も見られなかった。

5.2 ばね定数

表-2に実験、解析および設計式による軸方向のばね定数を示す。FEMによる解析値

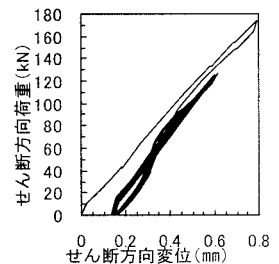


図-3 繰返し載荷

キーワード：ベローズ、載荷実験、FEM、沈埋トンネル

連絡先：〒169-8555 新宿区大久保3-4-1 51号館16階(清宮研) Tel, Fax : 03-5286-3852

は実験値の圧縮側に近い値となり、設計式による値（以下、計算値）はどちらも実験値を下回った。

初期軸方向変位とせん断方向のばね定数の関係について、実験値と解析値を図一4に示す。実験値は初期軸変位が引張側約1mmから圧縮側約1mmまでの間で約110kN/mmとほぼ一定であった。軸変位が1mmを越えるとせん断ばね定数は上昇した。また、実験で用いた供試体1体分のせん断ばね定数は、軸ばね定数と比較して10～30倍程高く、せん断方向の挙動については、降伏ひずみに達するまで変形はほとんど見られなかった。

表一3に実験、解析および設計式によるせん断ばね定数を示す。計算値は初期軸方向変位に影響を受けず一定である。計算値はどちらも実験値の約1/5～1/3で、せん断方向の剛性を低く算出している。

実験ではせん断方向載荷時に載荷面に回転角（せん断変位0.1mmで最大 4×10^{-4} rad）が生じた。そのため、FEM解析ではせん断載荷時、載荷面の拘束条件を軸力一定とした場合と軸変位一定とした場合の2通りの値を求めた。実験値と合うのは軸力一定とした場合であった。

軸変位一定では回転角が生じないため、純粋なせん断ばねとなる。一方、軸力一定では回転角が生じるため、軸ばねとせん断ばねの混合と考えられる。

5.3 ひずみ変化

実験で測定したひずみは断面の周方向と子午線（山谷）方向の2方向で、円周方向のひずみは子午線方向の約1/10であった。子午線方向のひずみについて、せん断変位1mm当りの増分値を表一4に示す。また、解析値および計算値も合わせて示す。計算値は実験値の約10～20倍となった。

ペローズ管の1/4断面における子午線方向のひずみの変化について、実験値と解析値を図一5に示す。矩形断面の角のひずみは直線部の約1/4～1/2であった。

6.まとめ

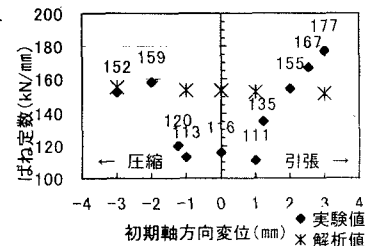
今回の実験で確認された矩形ペローズ管の力学特性を以下に示す。

- (1) ペローズ管の剛性は軸方向と比較してせん断方向の方が約10～30倍大きかった。また、せん断方向のばね定数は、軸方向に1mm以上の初期変位量を与えると初期変位量がない場合と比較して上昇した。
- (2) せん断方向のばね定数は、載荷状態を考慮したFEM解析値と実験値がほぼ等しくなった。設計式による値は実験値の約1/5～1/3であった。
- (3) ひずみは断面の周方向に比べて子午線方向の方が約10倍大きく、その分布は矩形断面の直線部に集中していた。矩形断面の角(45°)の子午線方向のひずみは直線部の約1/4～1/2であった。
- (4) パイプの継手を対象とした従来の設計式では、今回対象としたペローズ管のせん断応力やせん断方向のばね定数を適切に評価できないと考える。

参考文献：1) JIS B-2352. ペローズ形伸縮管継手 2) 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, pp.793-800, 1999.3 3)加藤さやか・清宮理：波形鋼板による沈埋トンネル継手部材の基本的な力学特性，鋼構造年次論文報告集，第7巻，pp.489-496, 1999.11

表一2 軸方向ばね定数の比較
(2.5山当り 単位 kN/mm)

実験値	FEM	EJMA	Kellogg
11.45(引張) 5.80(圧縮)	6.37	4.59	4.97



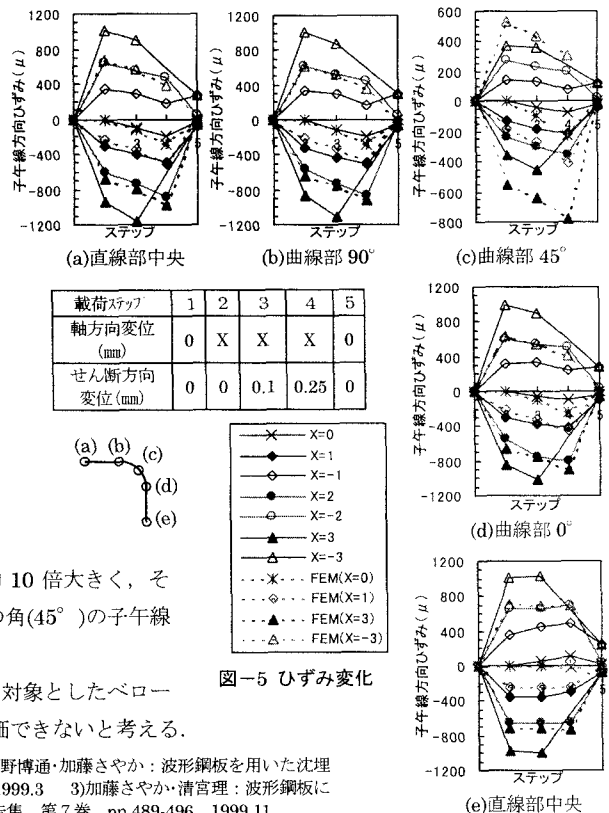
図一4 せん断ばね定数(2.5山当り)

表一3 せん断方向ばね定数
(2.5山当り 単位 kN/mm)

実験値	FEM	EJMA	Kellogg
110 ～180	軸力一定153 変位一定509	32	34

表一4 ひずみ増分
(せん断変位1mm当り 単位 10^{-6} /mm)

実験値	FEM	EJMA	Kellogg
800～1600 (最大点)	1030	13443	15588



図一5 ひずみ変化