

I - A141

免震用波形鋼板の基本的力学特性

早稲田大学 学生員 加藤 さやか
 早稲田大学 正会員 清宮 理
 新日本製鐵(株) 片山 能輔
 沖縄総合事務局 善見 昌宏

1. 緒言

沈埋トンネルの柔継手に波形鋼板（ベローズ管）を用いる計画がある。この鋼板は、沈埋函同士の接合部に溶接にて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。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、大規模な地震や地盤変形に対応できる。この鋼板の断面力として地震時を想定した荷重に対し、伝達機能と破壊性状を静的載荷試験により調べた。また、材料非線形性を考慮した有限要素法の計算結果を載荷実験結果と比較検討した。

2. 試験方法

供試体は、図1に示すように鋼板をプレスにより波形に加工したもので、3波の直線部分と半円部分で構成されている。材質はSM490Y、板厚は14 mmで曲線部分の半径は42 mmである。供試体の断面寸法は実物大で、奥行きは250 mmである。波形鋼板は取付部の鋼板と溶接により固定されている。載荷試験では、写真1に示すような容量25tfの油圧ジャッキ2台で軸方向に引張りと圧縮載荷を行った。表2に試験ケースを示す。引張り側の最大変位は500 mm、圧縮側は200 mmである。引張り側と圧縮側で載荷変位の値が異なるのは油圧ジャッキの性能による。ケース1と2では単調載荷、ケース3、4及び5は繰り返し載荷である。載荷は変位制御とした。この波形鋼板の設計振幅（地震時）は±40 mm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、ひずみ及び載荷荷重である。

3. 試験結果と考察

3.1 終局状態：載荷試験後の変形状況を写真2及び図2に示す。圧縮載荷の終局時では、隣接した円形部が接触した。また、引張り載荷では円形部の頂点が開くように変形し、直線部は直線形状を保っていた。写真からわかるように、波形鋼板は大きな変形性能を保有しており、載荷試験後に浸透探傷試験を行ったところ、取付部（溶接部）や曲線部に亀裂は見られなかった。

また、工場製作による初期不整を考慮して有限要素法解析を行ったところ、変形状態は図3のようになり、実験結果とほぼ同じ変形図が得られた。

3.2 荷重・変位関係：ケース1と2での荷重変位関係を図4に示す。引張り側では載荷荷重が約1.2tfで、圧縮側では約5tfで鋼材が降伏した。引張り側と圧縮側とで降伏荷重が大きく異なった。材料非線形性を考慮した板曲げ要素を用いて、有限要素法で解析した結果

表1 使用材料

鋼種	降伏点 (kgf/mm ²)	引張り強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)
SM490Y	40.96	55.36	25.3

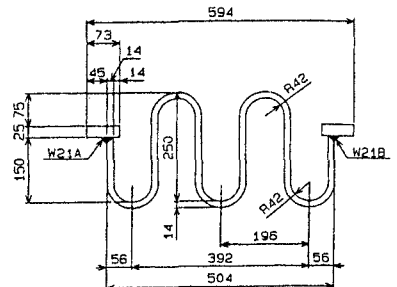


図1 供試体

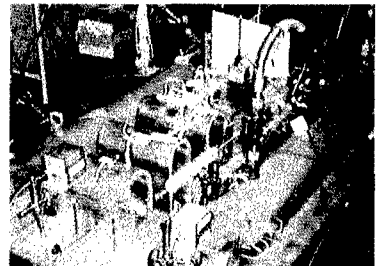


写真1 載荷装置

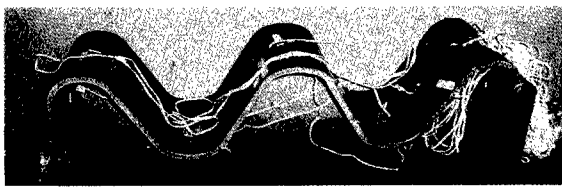
表2 試験ケース

ケース	方向	変位	回数
1	引張り	+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

キーワード：沈埋トンネル、波形鋼板、載荷試験、FEM

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



(a) 引張り

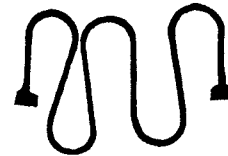


(b) 圧縮

写真2 変形状況

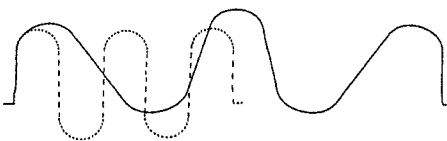


(a) 引張り

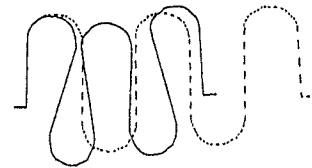


(b) 圧縮

図2 変形状況（実験結果）



(a) 引張り



(b) 圧縮

図3 変形状況（FEM 計算結果）

も合わせて示す。計算での鋼材の応力ひずみ関係はバイリニヤーと仮定した。計算では引張り側と圧縮側で降伏荷重が一致した。荷重変位関係での勾配が波形鋼板のばね定数を示し、地震応答計算での重要な入力データとなるが、弾性域では両者が良く一致した。ただし、降伏荷重は一致しなかった。

繰返し載荷による荷重変位曲線を図5に示す。10回の繰返し載荷によって履歴特性に変化は見られなかった。

3.3 ひずみ分布：引張り側、圧縮側それぞれのひずみ分布を図6に示す。波形鋼板のひずみは、軸ひずみではなく曲げひずみに支配されている。最大値は円形部の凸部で、降伏ひずみを超えた大きなひずみが生じていたが、直線部のひずみは降伏ひずみ以下であった。円形部の凸部は、引張り側では約5tfで、圧縮側では約6.5tfで塑性ひんじとなった。

4. 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、繰返し載荷を行っても変形は進行せず、安定した履歴特性を得た。

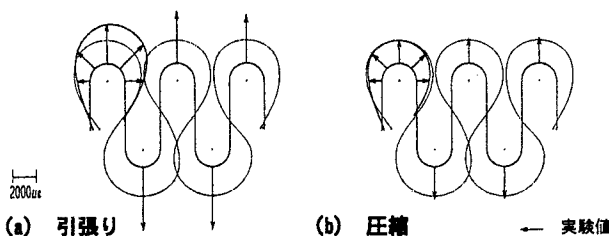


図6 ひずみ分布＜載荷荷重3tf＞

← 実験値
— 解析値

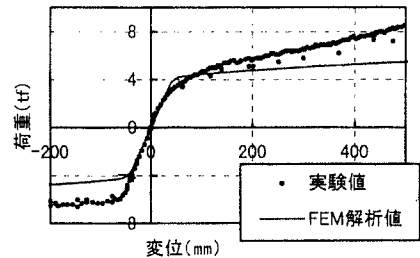
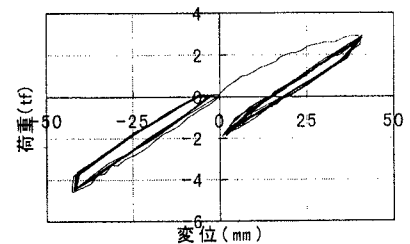
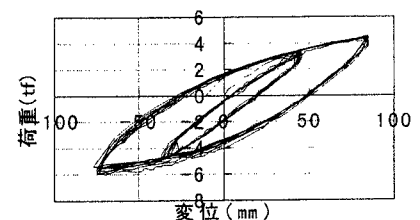


図4 荷重・変位曲線＜単調載荷＞



(a) 片振幅（ケース3,4）



(b) 両振幅（ケース5）

図5 荷重・変位曲線＜繰返し載荷＞