

早稲田大学 学生員 加藤 さやか
早稲田大学 正会員 清宮 理

早稲田大学 河野 博通
早稲田大学 尾田 京士

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、材料非線型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。曲線部分の半径は42 mmであり、板厚は14 mmで材質はSM490Y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。供試体の断面寸法は実物大で、奥行きは250 mmである。写真-1 に示すように、載荷試験では容量25tfの油圧ジャッキ2台で、軸方向に圧縮と引張り載荷を行った。引張り側は最大変位500 mm、圧縮側は200 mmである。圧縮側と引張り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。表-1 に試験ケースを示す。ケース1と2では単調載荷、ケース3、4及び5は繰り返し載荷とした。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。

表 1 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

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 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。

3.2 荷重変位関係：ケース1と2での荷重変位関係を図-2 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。圧縮側と引張り側とで降伏荷重が大きく異なった。材料非線型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。計算では圧縮側と引張り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、降伏荷重は一致せず、降伏後は再び計算値と実験値とがほぼ同じとなった。

また、繰り返し載荷による荷重変位曲線を図-3 に示す。10回の繰り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-4 に示す。円形部の凸部には、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。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おり、最大値は円形部の凸部であった。

キーワード：沈埋トンネル、波形鋼板、載荷試験、FEM

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

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、繰り返し载荷を行っても変形は進行せず、安定した履歴特性を得た。

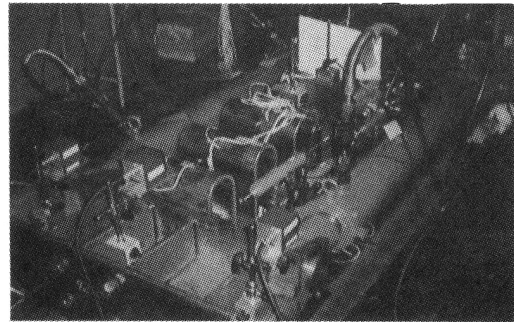


写真1 装置

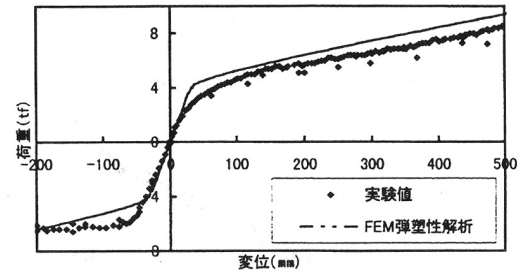
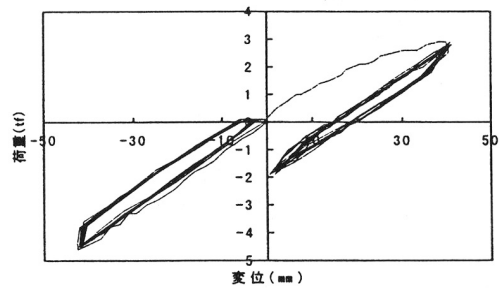
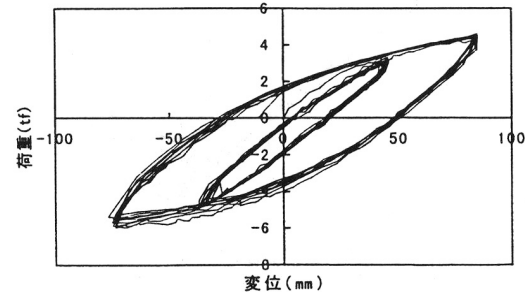


図2 荷重-変位曲線<単調増加>



(a) 片振幅 (ケース 3,4)



(b) 両振幅 (ケース 5)

図3 荷重-変位曲線<繰り返し>

表 2 使用材料

鋼種	降伏点(kgf/mm ²)	引張り強さ(kgf/mm ²)	伸び(%)
SM490 Y	37以上	50~62	15以上

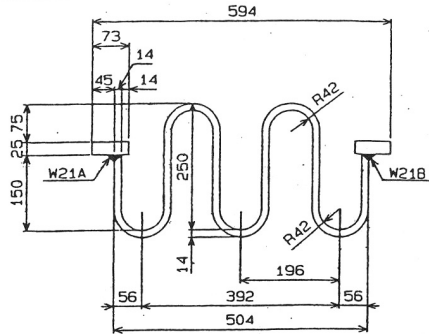


図1 供試体

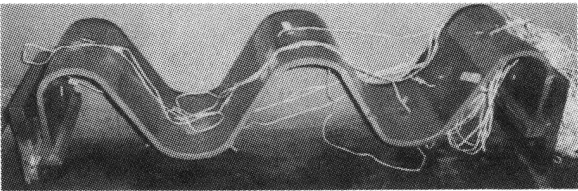
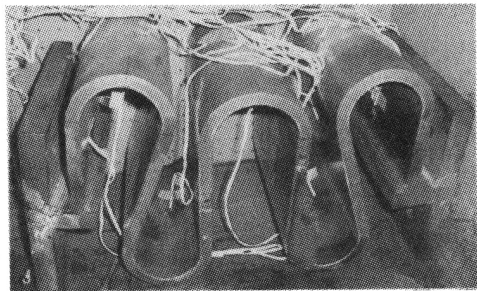
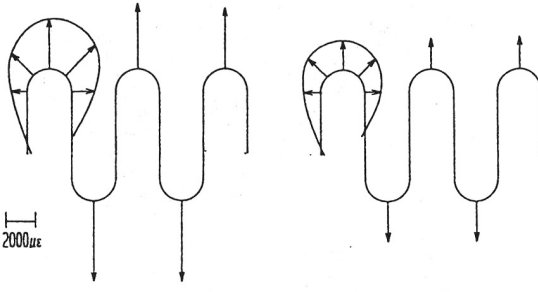


写真2 変形状況



(a) 引張り

(b) 圧縮

図4 ひずみ分布 <3 tf>