

# I-B 401 波形鋼板継手を用いた沈埋トンネルの材料非線形性を考慮した地震応答解析

早稲田大学 (学)河野 博通・(正)清宮 理

## 1. まえがき

沈埋トンネルの函体接合部分の継手部材として、従来の柔継手(ゴムガスケット)にかわり波形鋼板継手(ペローズ継手)が提案されている。波形鋼板継手は地震時の大変形を吸収できる免震部材で、沈埋函の断面力も低減できる。現在、波形鋼板継手を用いた沈埋トンネルが計画されている。そこで、波形鋼板模型(幅25cm)の引張・圧縮載荷実験を行い、その実験値から波形鋼板継手のバネ定数を算定し、沈埋トンネルに適用させ、地震応答解析を行い、函体及び継手に発生する断面力から波形鋼板継手の有効性を考察する。

## 2. 解析手法

解析の対象沈埋トンネルを図1に示す。トンネルの全長は990m、沈埋区間は520mであり、沈埋函6函で構成され、沈埋部には7箇所の継手箇所があり、サンドイッチ構造の沈埋函一函の全長は87.5m、高さ9.1m、幅34.6mとなっている。沈埋トンネルを構成する沈埋函を梁要素に、沈埋函を連結する継手をバネ要素等の多質点系モデルにモデル化する「沈埋トンネル地震応答計算プログラム(Fortran)」を用いて地震応答解析を行う(図2)。解析モデルは58の要素点及び59の節点により構成されている。トンネル座標はXZ平面上で考え、Y軸方向は考慮しない。トンネル周辺は軟弱な沖積層で約60m以深は洪積層で、この層を地震波を入力する工学的基盤面とした。解析対象部分は沈埋部分とし、解析方向はトンネル軸(X軸)方向及びトンネル軸直角(Y軸)方向とし、継手バネに従来の柔継手を用いた場合と波形鋼板継手を用いた場合の全部で4ケースの地震応答解析を行い、解析結果を比較する。表層地盤の振動モードは一次振動モードのみ考慮した。軸方向解析では、地震波をX軸方向に入射し(振幅もX軸方向)、軸直角方向ではY軸方向に入射する(振幅もY軸方向)。そして、軸方向解析では軸力(X軸方向)、軸直角方向解析では曲げモーメント(Z軸回り)について解析する。入力地震波(図3)は兵庫県南部地震時のポートアイランドの-82mで観測された加速度波形であり、最大加速度は-679gal、ステップ数は2000、ステップ間隔は0.01秒、波速は5000m/sとした。軸方向解析において沈埋開始点と終了点では約0.1秒の応答時間差があるが、軸直角方向ではない。継手バネに関して柔継手を用いた場合は設計値(線形)を用いるが、波形鋼板継手を用いる場合は実験値から算定したバイリニア型の非線形性を考慮する。バイリニア型のK1バネの非線形性を考慮する。また、沈埋函のトリリニア型の材料非線形性も考慮する。

## 3. 波形鋼板継手のバネ定数算定方法

図4に沈埋函の接合部(柔継手の場合)構造を示す。軸方向の設計変位

キーワード 沈埋トンネル、地震応答解析、柔継手、波形鋼板

連絡先 東京都新宿区大久保3-4-1 Tel, Fax 03-5286-3852

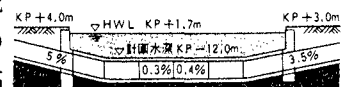


図1 沈埋トンネルの概要

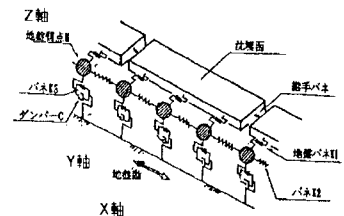


図2 応答解析モデルの概略

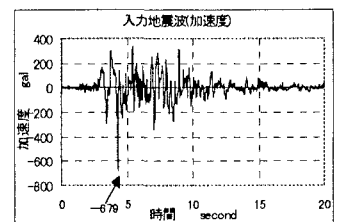


図3 入力地震波(ポートアイ波)

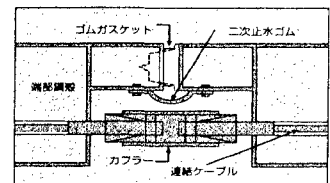


図4 接合部構造(柔継手)

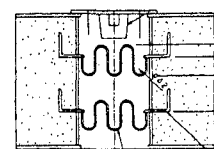


図5 接合部構造(波形鋼板継手)

は土約 50mm である。また、図 5 に波形鋼板継手の場合の構造を示す。厚さ 14mm の波形の鋼板を 2 組接合部に溶接して取付けた二重ベローズであり、取水性を確保するとともに、地震、地盤の不等沈下などによる接合部の変形を吸収できる構造となっている。軸方向の設計変位は土約 40mm であるが塑性設計されている。

また、図 5 の継手部分の波形鋼板と同じ長さ・材質の波形鋼板模型(幅 25cm・長さ 59.4cm・材質 SM490Y)のジャッキ荷重による引張・圧縮載荷実験を行い、実験値から模型の軸方向のバイリニア型のパネ定数を算出した。また、図 5 の断面に模型と同じ性能の合計幅 163.8m の波形鋼板があるとして、軸方向の波形鋼板継手のパネ定数を次式から算定した。

$\text{波形鋼板継手のパネ定数(軸方向)} = (\text{幅 } 163.8\text{m} / \text{幅 } 0.25\text{m}) \times \text{模型のパネ定数}$

その他の成分のパネ定数は計画されている沈埋トンネルの FEM 解析の解析値を参考に算定した。図 6、7 に軸力・曲げモーメントに大きく影響する柔継手及び波形鋼板継手の X 軸方向、Z 軸回りのパネ定数のグラフを示す(K: パネ定数)。X 軸方向、Z 軸回りともに弾性領域におけるパネ定数は柔継手の場合に比べ、波形鋼板継手の場合は約 1/6 の値となった。

#### 4. 解析結果

軸方向解析の解析結果を図 8～9 に示す。図 8 は函体の各要素点での最大軸力をトンネル軸方向に整理した結果を示している。函体の最大軸力は場所にもよるが柔継手を用いた場合に比べて、波形鋼板継手を用いた場合は約 1/2 に減少し、両場合ともに函体材料の弾性値を越える軸力(引張: 約 15000tf、圧縮: 約 293000tf)は発生していない。継手部分に関しては材料が変わったこともあり最大軸力は約 1/3 に減少し、柔継手の変位は +38.62～44.21mm の範囲だったが、波形鋼板継手の場合は +115.1～101.6mm となり、4 箇所の継手で変位が塑性領域に入ったが、波形鋼板は塑性設計されているので問題はない。軸直角方向の解析結果を図 10～11 に示す。函体の最大曲げモーメントは場所にもよるが約 2/3 に減少した。両場合ともに函体材料の弾性値を越える曲げモーメント(約 240000tf・m)は発生せず、函体の端部分で最大曲げモーメントが小さくなった。継手部分の最大曲げモーメントは約 1/3 に減少し、波形鋼板継手の弾性限界値を越える曲げモーメントは発生していない。

#### 5. まとめ

解析結果から函体の断面力が従来の柔継手を用いた場合と比べて波形鋼板継手を用いた場合では、場所にもよるが軸力では約 1/2 に、曲げモーメントでは約 2/3 に、継手の断面力は、約 1/3 に減少し、波形鋼板継手の有効性が確認された。軸方向解析において波形鋼板継手に発生する変位が 7 箇中、4 箇所塑性領域に入った。全ケースを通じて、函体材料の変形は弾性領域にとどまった。

<参考文献>清宮 理,西澤 英雄,横田 弘:川崎港トンネルでの地震応答観測と応答解析,港研技研資料 Vol22, No3 1983.9

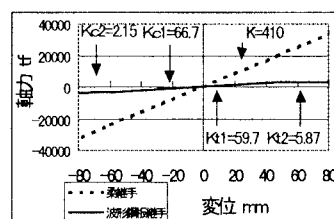


図 6 X 軸方向の継手のパネ定数

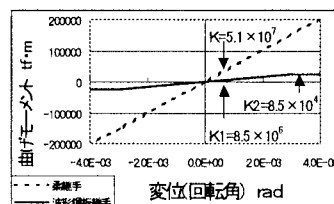


図 7 Z 軸回りの継手のパネ定数

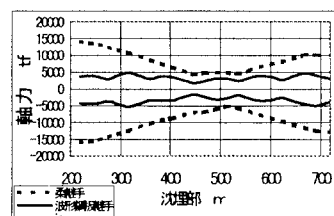


図 8 函体の最大軸力分布

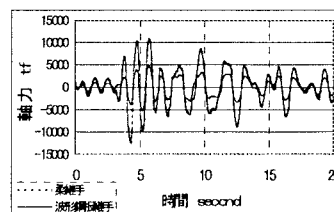


図 9 要素 20 の軸力の時刻歴

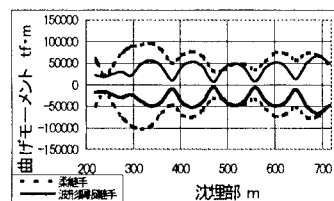


図 10 函体の最大曲げモーメント分布

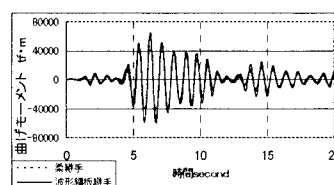


図 11 要素 26 の曲げモーメントの時刻歴