

# 不整形地盤における線状地中構造物の 地震時挙動の検討

武富昌之<sup>1</sup>・渡辺敬一<sup>1</sup>・森本巖<sup>2</sup>・ロランド オレンセ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ジオスター(株)技術開発部(東京都港区芝4丁目2-3)

<sup>2</sup>正会員 基礎地盤コンサルタンツ(株)技術部(東京都千代田区九段北1-11-5)

<sup>3</sup>正会員 工博 基礎地盤コンサルタンツ(株)技術部

線状地中構造物の地震時安定性は構造物延長方向の地盤の挙動に大きな影響を受ける。本報告は、沖積層と洪積層が接する不整形地盤によって生じる地震動の攪乱が両層を通過する線状地中構造物の安定性に及ぼす影響を解析的に検討したものである。まず、二次元地震応答解析を行い、不整形地盤では地震動(変位)増幅特性が、水平成層地盤と比べて数倍の大きさになる可能性があることを明らかにした。さらに、算定された動変位を外力として、応答変位法により線状地中構造物(カルバートボックス)に発生する断面力を算定した。その結果、可とう性の大きいカルバートを適切な位置に配置することにより、カルバートの断面力を低減できることが分かった。

**Key Word :** irregular ground, culvert box, seismic response

## 1. はじめに

地中構造物の地震時安定性は地盤の挙動に大きく影響される。特に、各種管路などの線状構造物は、路線上の地盤挙動の違いによって、大きな応力が発生し、これが被害に結びつく場合が多いといわれている。兵庫県南部地震では、地震観測史上、かつてなかったような大きな地震動が構造物に作用したこと、埋立土(マサ土)の液状化が広範囲に生じたこと等から、埋設管などの地中構造物が大きな被害を受けた。線状地中構造物のように延長が長いものは、建築物などのような点状の構造物のように地盤改良などの大規模な対策は現実的ではなく、管材の強度の増加や可とう性継手を用いるなどの対策方法の確立が急務となっている。

本報告では、まず硬軟地盤が境を接する不整形地盤における地震動増幅特性について検討するために、一次元解析および二次元解析を行った結果をまとめ、次に、地層境界部における線状地中構造物の耐震対策として、可とうカルバートボックスを用いた場合の効果について検討を行った。

## 2. 地盤モデル

解析対象の地盤モデルは、図-1~図-2に示す2種類である。A-1は沖積層の低地と洪積層の台地(関東ローム層および東京層)とが接しているものであり、A-2は洪積層と沖積層が同じ厚さで接しているモデルである。モデルA-1の沖積層厚は20m、モデルA-2の沖積層厚は50mである。沖積層は上部10mが砂層で、下部は粘性土とした。洪積層と沖積層が接する角度は20%(約11°)とした。これらは首都圏の地盤構造から、地層が急激に変化している地点をモデル化したもので、解析に用いる地盤物性値はN値等より推定した。なお一次元解析は、同図に示すように沖積層と洪積層の接する地点を中心として5~6箇所で行った。

## 3. 地震応答解析方法および入力地震動

解析プログラムは、"SHAKE"(一次元解析)と"F LUSH"(二次元解析)を用い、地表面変位分布および水平方向ひずみを算定した。

解析に用いた地震動は海洋型と内陸型の2種類とし、それぞれ、1968年十勝沖地震の八戸港NS成分を基盤地震動に変換したもの、および1995年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台のNS成分を用いている。なお、地震動の入射基盤は図-1および図-2に示した地盤モデルの下面とし、海洋型、内陸型ともに最大加速度300galで入力した。

#### 4. 地盤の増幅特性

図-3～図-4にモデルA-1およびA-2の地表面の最大水平変位分布を示す。図には海洋型地震および内陸型地震の結果が示されている。これらの図は二次元解析結果と一次元解析結果を比較したものである。まず、厳密な地震時挙動を表していると考えられる二次元解析結果では、地層境界の影響は沖積層にのみ現れ、地盤が硬質な洪積層ではほとんど現れていない。また影響範囲は沖積層が深いほど大きく、モデルA-1で150m程度、モデルA-2で450m程度となる。それぞれのモデルの沖積層と洪積層の接している部分の水平距離に対する比率でみると、1.5～1.8倍程度となる。一次元解析との比較では、モデルA-1、A-2とも両者はよく一致していると考えられるが、一次元解析の方が地層境界部における水平変位の変化が急激であることが分かる。図-5～図-6は、埋設管等の線状構造物に直接影響すると考えられる地盤の水平方向ひずみの分布である。モデルA-1では、一次元モデルの変位の変化が二次元モデルに比べて急激であるために、地盤ひずみに直すと3倍以上の違いが生じる。この違いは、地震波形（海洋型、内陸型）によらず同程度である。一方、モデルA-2では、モデルA-1ほどの違いはないが、最大値で比較すると、1.5倍程度一次元解析より計算されたひずみの方が大きくなり、また、波形の影響も大きい。

#### 5. カルバートボックスの解析モデル

カルバートボックスが前述のような地盤変位を受けた場合の挙動を応答変位法を用いて解析し、カルバート間に可とう性の大きいカルバート（可とうカルバートボックスと呼ぶ）を入れた場合の応力低減効果の検討を行った。

図-7に示すように、カルバートボックス本体（長さ2m）は梁要素で、カルバート間の接合部は軸方向バネと回転バネでモデル化している。接合部の加重～変位曲線は図-8に軸方向の例を示すように、許容変位までは実験に基づくバネ定数を設定し、

それ以上の変位はストッパーのため拘束されるので、無限大のバネ定数を設定した。なおカルバート間の伸縮量は、通常のカルバートで0～+5mm、可とうカルバートで-20～+50mmである（+は伸張側）。

地盤モデルはA-2モデル、入力地震動は海洋型とし、沖積砂層が液状化した場合を想定した変位を地盤バネを介してカルバートに与えた。カルバートに与えた地盤変位は軸方向のみであり、二次元解析で得られた地表面の同時刻の水平変位である。

#### 6. 不整形地盤におけるカルバートボックスの挙動

解析結果を図-9に示す。図には可とうカルバートボックスがない場合、1ヶ所設置した場合（地盤境界部）、2ヶ所設置した場合（地盤境界部と断面力最大部）の3つのケースについての結果を示した。同図より可とうカルバートを設置することによってカルバート本体の断面力（軸力）が低減することが分かる。可とうボックスを1ヶ所及び2ヶ所設置した場合のカルバートの軸力の低減割合は、可とうボックスが設置されていない場合に比べて、それぞれ86%と62%になる。

#### 7. まとめ

- 1) 設定した地盤の不整形性による変位の影響範囲は、地層境界部の水平距離の1.5～1.8倍程度となる。
- 2) 一次元解析の方が二次元解析に比べて地層境界部での変位の変化が著しく、そのため地盤の最大ひずみに1.5～3倍程度の差異が生じる。
- 3) 不整形地盤境界部を横断するカルバートボックスに作用する荷重を応答変位法で算定した結果、カルバート間に可とう性の大きいカルバートを設置することによって、カルバートボックスの軸力をかなり低減できることが分かった。

謝辞：本解析に当たっては、東京電機大学 安田進教授にご指導をいただいた。末筆ながら感謝申し上げる次第である。

モデル A-1

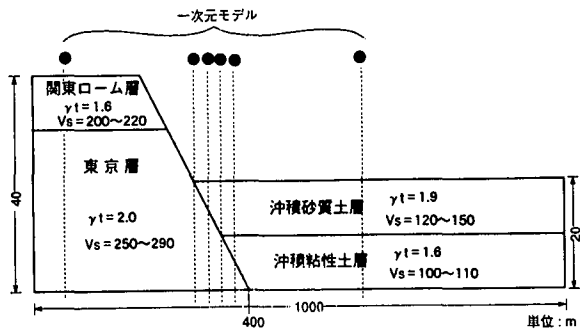


図-1 地盤モデル(A-1)

モデル A-2

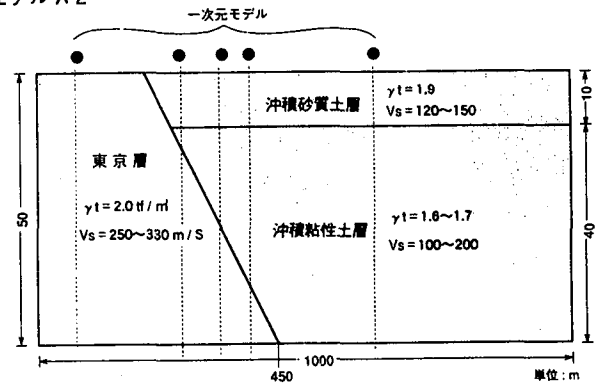


図-2 地盤モデル(A-2)

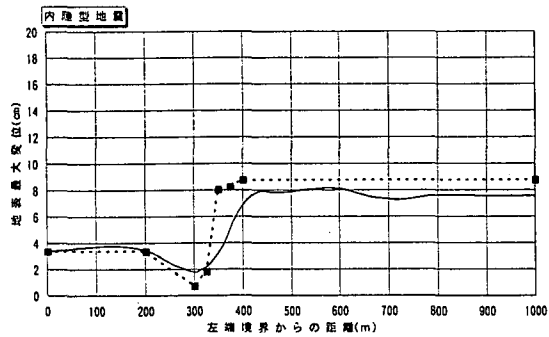


図-3 最大変位の分布(モデルA-1)

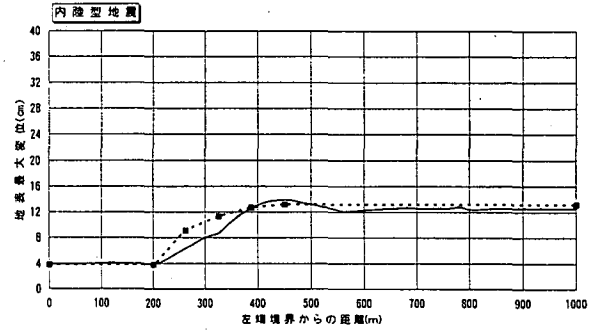


図-4 最大変位の分布(モデルA-2)

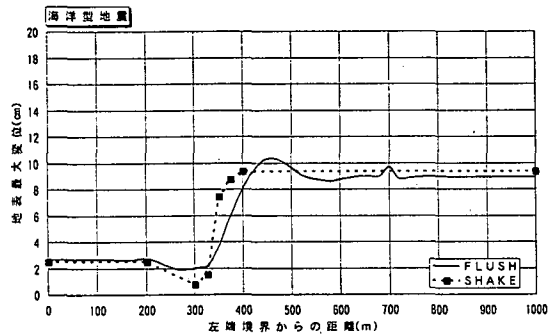


図-5 地盤のひずみ分布(モデルA-1)

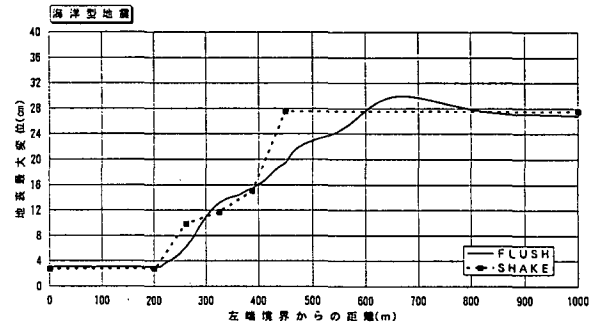
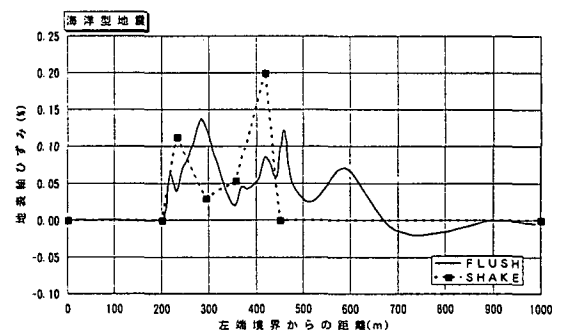
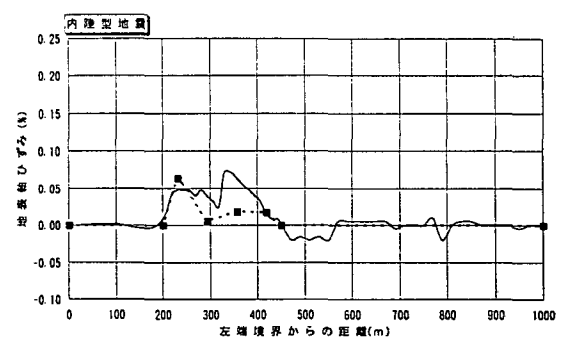
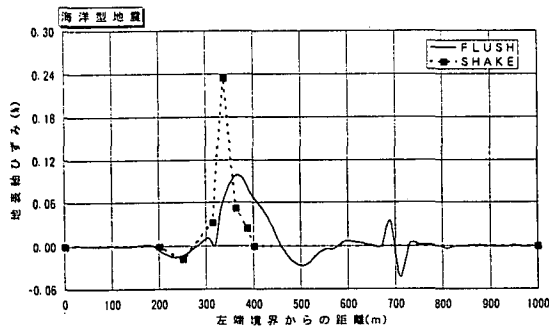
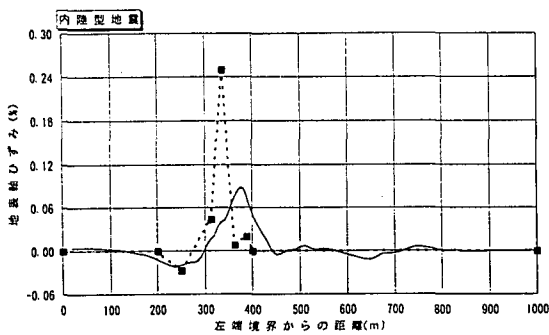


図-6 地盤のひずみ分布(モデルA-2)



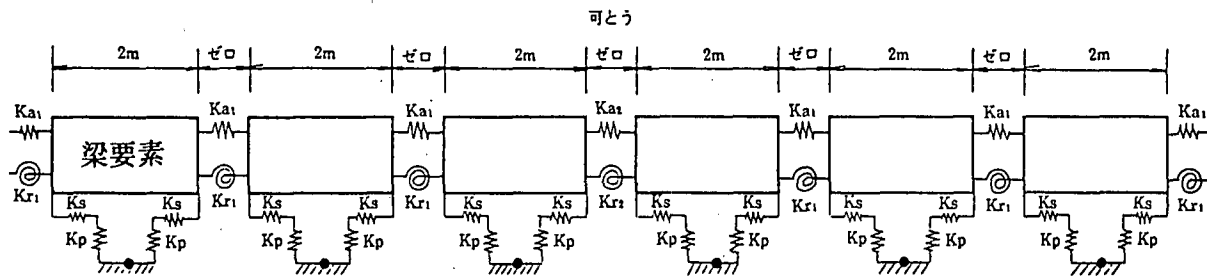


図-7 カルバートボックスのモデル化

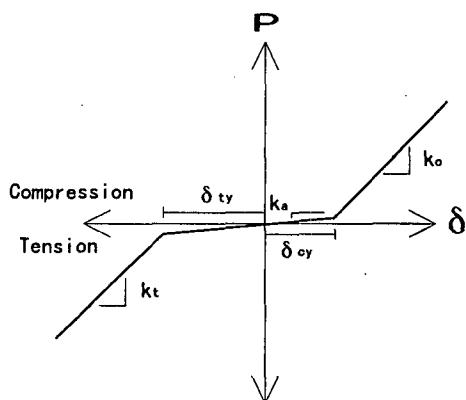


図-8 軸方向の荷重～変位モデル

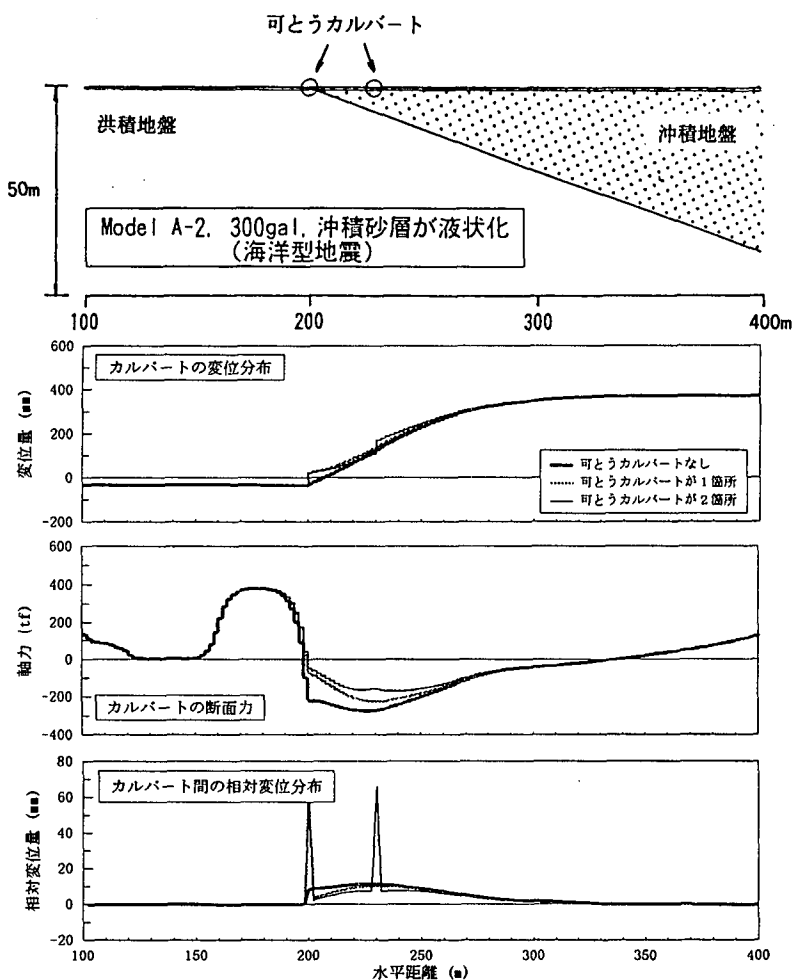


図-9 可とうカルバート設置による断面力の低減