

(173) 線状地中構造物に作用する地震力に関する 実験的および解析的検討

大成建設(株) ○正会員 渡辺和明
同上 正会員 志波由紀夫

1. はじめに

トンネルなどの線状地中構造物の軸直角方向の耐震計算は、一般に図-1に示す応答変位法によっている。この応答変位法で考えている地震力は、仮に構造物がないとした地盤(自然地盤)に生じるであろう変位と、実際に構造物に生じる変位との変位差に比例して、構造物の軸線に対して直角な方向に作用する力である。

これに対して、著者の一人は前回の発表会において、理論的には上記の地震力のほかに、図-2に示すように、自然地盤内に生じるせん断応力に対応して、構造物の側面を長手方向にこするような地震力(周面せん断力)が作用するであろうことを指摘し、また、その地震力を考慮した耐震計算法を提案した¹⁾。

その後、著者らは均質な地盤中に埋設された線状構造物を対象に、簡単な模型実験と数値解析により、線状地中構造物に作用する周面せん断力の確認を試みたので、報告する。

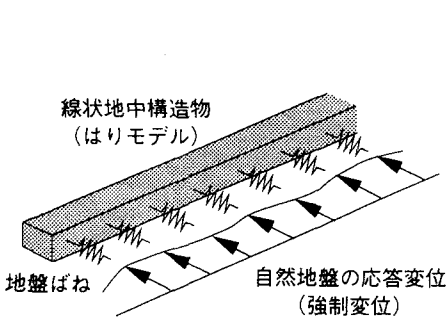


図-1 従来の耐震計算モデル

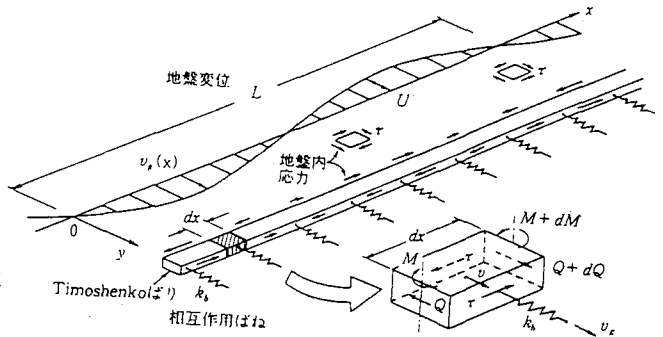


図-2 提案した耐震計算モデル

2. 実験方法

長さ60cm、幅40cm、厚さ10cmの模型地盤中に、線状構造物を模擬した長さ50cm、3cm角の正方形断面の角棒を埋め込んで、地盤に変位を与えたときの構造物の挙動を計測した。

この実験は、線状地中構造物に作用する地震力、特に周面せん断力の作用の確認を目的にしたものであり、厳密な相似則を満足したものではない。

表-1に模型実験に用いた材料および物性値を示す。この表において、例えば、地盤モデルの「硬質地盤」と構造物模型との剛性比1/116は、大略、せん断波速度220m/sの地盤とヤング率 3×10^5 kgf/cm²のコンクリートの剛性比に対応する。

地震時の地盤変位としては、次の2種類のモードを考えた。

表-1 モデルの物性値

物性	硬質地盤	軟質地盤	構造物
単位重量(gf/cm ³)	1.00	1.00	1.22
ヤング率(kgf/cm ²)	1.76	0.42	205
ポアソン比	0.49	0.49	0.42
減衰定数	1.4%	6.0%	3.0%
材料	日東化学工業(株) 「ダイヤエース1号」		天然ゴム

①単純せん断モード (図-3(a)参照)

地盤変位が構造物の長手方向に直線的に変化する変位モードである。このモードを実験において発生させるために、模型地盤の打設用型枠を利用した。この型枠は、角部に蝶番を取り付け4枚の側板を接合した構造になっている。また型枠底板上にはアルミ製の薄い板を敷き詰め、地盤模型が側板の動きに応じて滑るように工夫した。型枠内に地盤模型を打設した状態で、型枠の側面の一つを固定し、向い合う側面を強制的に変形させると、型枠の強制変形に伴い、地盤全体がせん断変形し、構造物の長手方向に変化する変位モードを発生できた。静的に型枠を強制変形させることで、地盤に生じさせるせん断ひずみの大きさは1/30とした。

②正弦波モード (図-3(b)参照)

地盤変位が構造物の長手方向に正弦波形状に変化する変位モードである。実験においては、型枠を用いて地盤材料の短辺を固定拘束し、同時に地盤底部と型枠底板も固定した。この状態で振動台によって、模型地盤の1次固有振動数で地盤の短辺方向に加振することによって、正弦波形の1/2波に近い変位モードを生じさせることができた。また模型地盤の1次固有振動数は、地盤模型のみによる実験より決定した。

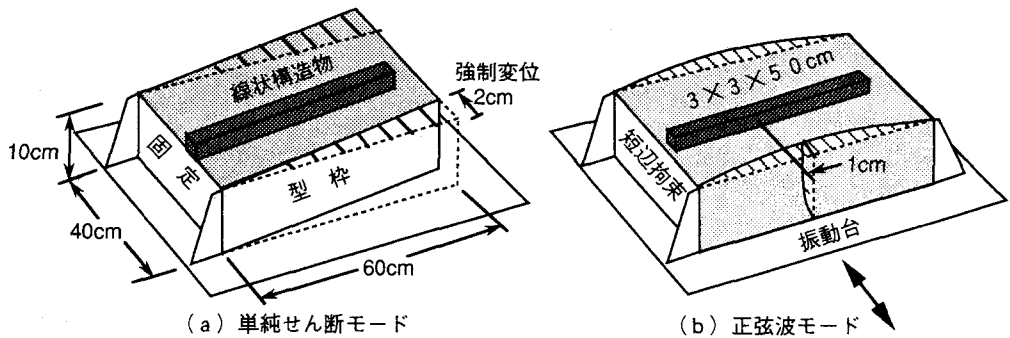


図-3 変位モード発生方法

上記の変位モードにおける構造物の挙動は、構造物模型にひずみゲージを貼り、各地盤変位に対する曲げひずみおよびせん断ひずみを計測した。なお、構造物模型の両端面の条件として、本実験では両端面に地震力が作用しない条件とし、構造物模型の両端面に間隙を空け、地盤と接しないようにした。

3. 結果

(地震力)

それぞれの地盤変位に対して、従来の計算法と提案した計算法では、地震力の考え方に違いがある。各計算法において、構造物と地盤間に作用する地震力を図-4、5にまとめた。ここで図中の横軸は、構造物模型の位置を示し、中心を原点とした。

①単純せん断モード

従来の耐震計算法の考え方では、この変位モードに対して、構造物はその軸が傾くだけで、構造物自体にまったく地震力が作用しない。これに対し、提案した計算法では、構造物側面の長手方向に働く周面せん断力と、これに対抗する軸直角方向の力として生じる地盤反力が、構造物と地盤間に地震力として作用している。図-4に示すように、この変位モードでは、周面せん断力が支配的で、構造物の長手方向に一樣に作用する。また地盤反力による直応力は、構造物の中央部では作用せず、端部に近づくに従って大きくなる。

②正弦波モード

各計算法における地震力は、構造物中心の深さでの地盤の変位振幅を1cmとして計算した。図-5に示したように、提案した計算法では、構造物に作用する地盤反力による直応力が、従来の計算法に比べて大きな値となる。この傾向は硬質地盤の場合において顕著で、構造物の中央部と端部で、従来の計算法の約倍程度の直応力が作用する。また周面せん断力は、構造物の中央部では作用せず、端部に近づくにつれて大きくなる。硬質地盤では、構造物の端部において、直応力と周面せん断力はほぼ同程度となる。

(構造物の応力)

それぞれの地盤変位モードに対して、構造物に発生する応力は図-6、7のようになる。図中で従来とあるのは、従来の耐震計算法による結果で、提案とあるのは、提案した耐震計算法による結果である。また模型実験で計測した構造物の曲げひずみ、せん断ひずみは、構造物模型の弾性定数を用いて応力に換算し、それぞれの計算法の結果と比較した。

①単純せん断モード

従来の計算法では、図-6に示すように、この変位モードに対して構造物には応力が発生しない。これに対して提案した計算法では、周面せん断力の作用を考慮することによって、曲げ応力、せん断応力ともに発生している。

模型実験の結果は、硬質地盤では、一部の測点を除き、曲げ応力およびせん断応力は提案した計算法と同じ傾向になった。また軟質地盤では、せん断応力は中央部の測点を除き、提案した計算法も計算結果と一致しているが、曲げ応力は大きくなった。これらの実験結果より、従来の耐震計算法の問題点を指摘できた。

②正弦波モード

提案した計算法の結果は、どちらの地盤モデルにおいても、従来の計算法に比べて曲げ応力が小さくなり、せん断応力が大きくなる傾向がある。この傾向は硬質地盤で顕著である。

模型実験の結果は、構造物中心の深さでの地盤の変位振幅を1cmとして換算した。どちらの地盤モデルにおいても、曲げ応力の分布傾向は提案した計算法と同じであるが、その値は従来の計算法による結果よりも大きくなった。せん断応力の結果は、硬質地盤では中央部の値を除き、提案した計算法の結果と一致した。しかし軟質地盤では、分布傾向は捉えているが、提案した計算法よりも大きな値となった。これらの実験結果によって、耐震計算で考慮すべき地震力について検討することは難しい。

4. まとめ

簡単な模型実験と数値解析により、地震時に、線状地中構造物に作用する周面せん断力の確認を試みた。模型実験では、ゴム材に生じるひずみの大きさなどについて、必ずしも精度の高い計測はできなかった。しかし従来の地震力の考え方では、構造物に応力が生じないとしている単純せん断モードに対して、実験では構造物に曲げモーメントおよびせん断力が生じることが確認でき、周面せん断力の作用が間接的に認められた。

線状地中構造物に作用する地震力に関しては、模型実験を補足するために3次元FEMによる数値実験も実施しており³⁾、別途発表する予定である。

参考文献

- 1)志波由紀夫：線状地中構造物の耐震計算法としての応答変位法における問題点と改良案、第21回地震工学研究発表会、1991
- 2)志波由紀夫、立石章：応答変位法における地震力評価の問題点とその改善、大成建設技術研究所報、第24号、1991
- 3)渡辺和明、志波由紀夫：線状地中構造物の耐震計算で考慮すべき地震力の検討、土木学会第48回年次学術講演会（投稿中）、1993

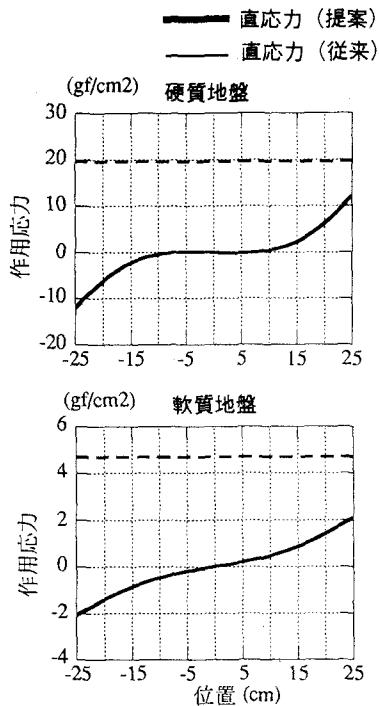


図-4 構造物～地盤間の作用力 (単純せん断モード)

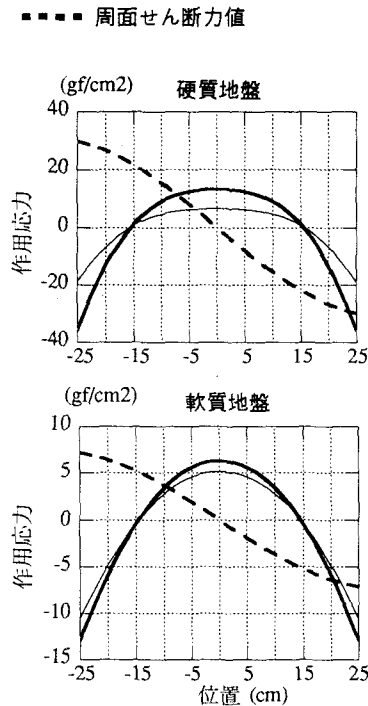


図-5 構造物～地盤間の作用力 (正弦波モード)

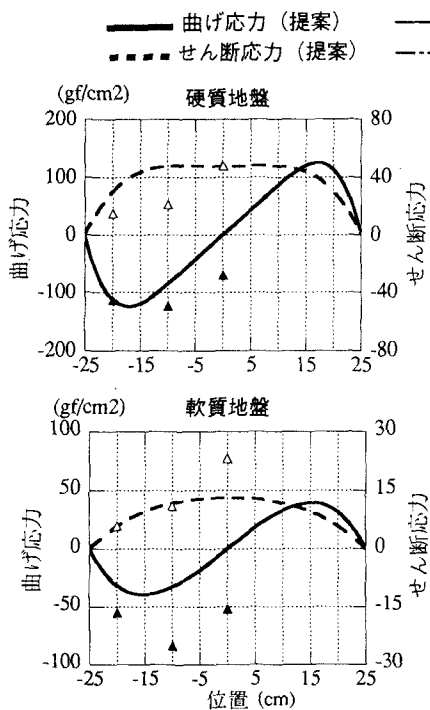


図-6 構造物の応力 (単純せん断モード)

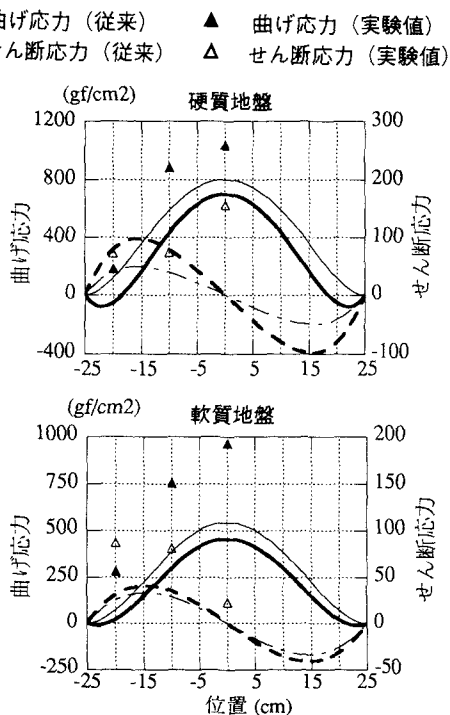


図-7 構造物の応力 (正弦波モード)