(188) EPS盛土-擁壁の起振実験とその有限要素解析

東京大学大学院　○相京　泰仁
東京大学生産技術研究所　山崎　文雄
鹿島建設（株）技術研究所　大保　直人
横須賀市水道局給水部建設課　金井　慎司

1．はじめに

現在までに，土木構造物に用いられている盛土材には様々な種類のものがある．その中でも軟弱地盤上等には，地盤沈下を軽減するために，軽量材料として気泡モルタル，流動化処理材そして水砕ズラグなどが使用されてきた[1]。しかしながら，施工条件の厳しい所では，さらに軽量な材料が求められてきていた．そこで最近では，その超軽量性に注目されて，発泡スチロール(Expanded Polystyrol:以下EPSと呼ぶ)を用いた土木構造物が施工されるようになってきている．EPSは，その超軽量性だけでなく，耐圧縮性，自立性，耐水性そして施工性などにも優れている．このように，EPSは実際に材料として使われると共に，それ自体に関しての研究[2]や縮小模型による盛土材としての実験例[3]などが数多く報告されてている．しかしながら，実構造物の地震時挙動に関する実験例は極めて少ない．そこで，本研究では土木構造物として横須賀市逸見浄水場内に構築された，EPSが一部擁壁裏込め材として使用されている盛土擁壁を対象とした起振実験を実施した．この擁壁には，地震観測用に，加速度計，土圧計そしてひずみ計が設置されており，地震時には，それらの観測計器により擁壁の挙動が記録される．今までの地震記録では，EPSに影響を及ぼすような地震は少なく，EPSを使用した構造物がどのような挙動を示すかは充分には解明されていない．そこで，起振機を用いて擁壁を加振し，その実験結果の応答と有限要素解析から求めた応答曲線とを比較検討した．なお，常時微動観測も合わせて実施したが，この結果については別の機会に報告する．

2．実験概要

実験は，1993年3月8-11日の4日間にわたって実施し，常時微動観測および起振機を用いた加振実験行った．実験日程としては，まず，微動計および起振機の設置地点の選定を行い，その後，24時間の常時微動観測（1時間おきの自動計測）を行った．2日目，起振実験のための起振機（不平衡重錘起振方式，最大起振力1000kgf）を搬入し，第一回目（ケース1）の起振実験を行った．起振実験終了後，再び12時間の常時微動観測を行った．3日目，第2回目（ケース2）の起振実験を行った．それが終了した後，引き続き第3回目（ケース3）の起振実験を行った．最後に，再び12時間の常時微動観測を行った．以上のように実験方法としては，常時微動観測を3回行い，起振実験を3ケース行った．次に，それぞれの実験ケースを示し実験時の起振機および微動計配置図の平面図および断面図を図-1，図-2に示す．

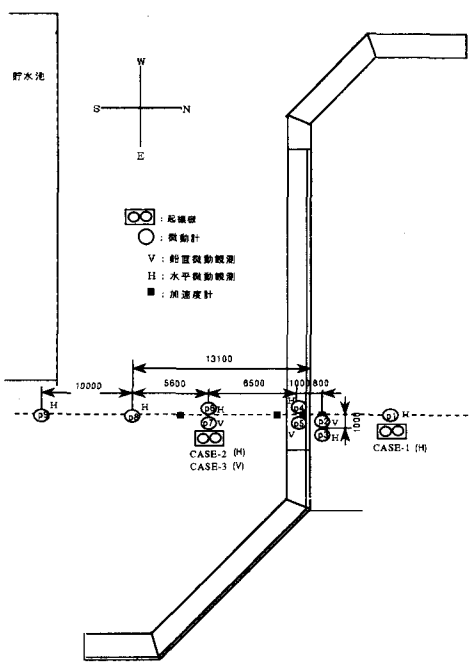


図-1　EPS擁壁の平面と起振機および微動計配置図

ケース1：擁壁下部水平加振
図-1に示したケース1の地点（擁壁下部）に起振機を設置し，2Hzから20Hzまで0.5Hz刻みに，共振点付近では0.1Hz刻みに水平定常加振を行い，それぞれ20秒間づつ記録を行なった．振動の測定方法は，地表上では図-1に示す6地点9方向（P1-P9）を微動計により速度振幅で測定し，盛土内では，図-2に示す地震観測用の加速度計により感度を上げて加速度を測定している．

ケース2：EPS盛土上水平加振
ケース2の地点（EPS盛土上）に起振機を設置し，ケース1と同様な測定を行った．

ケース3：EPS盛土上鉛直加振
ケース3の地点（EPS盛土上）に起振機を設置し，2Hzから20Hzまで0.5Hz刻みで鉛直定常加振を行い，ケース1と同様な測定を行った．

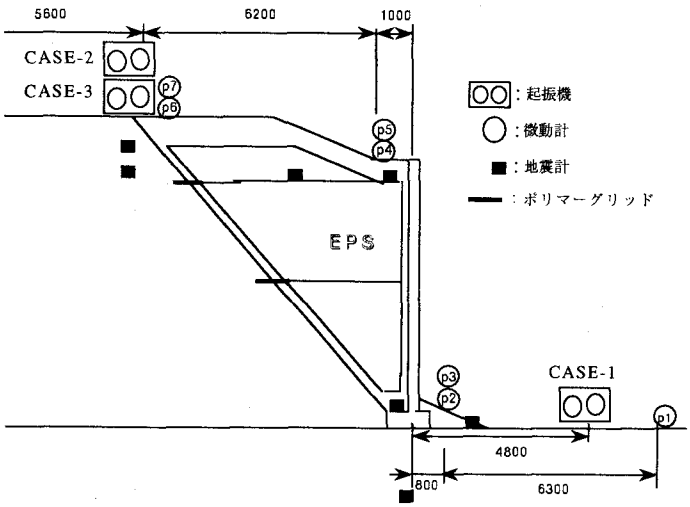


図-2　EPS擁壁の断面図と起振機および微動計配置図

3．解析方法

EPS-盛土擁壁の擁壁直角方向を2次元平面ひずみ問題と考え，振動数領域における有限要素法プログラムを用いた動的応答解析を行なった．

対象構造物のモデル化[4]：EPS-盛土擁壁の要素分割図を図-3に示す．観測点には速度や加速度を求めるために節点を設けた．また，コンクリート床版とポリマーグリッドを単位奥行き当たりの剛性が等価になるはり要素とし，実構造にあわせて上段のコンクリート床版は盛土とは連結せず，2段目と3段目の床版をポリマーグリッドにより盛土と連結させるモデルとした．そして，底面を測点AA-1の深度において粘性境界とした．その他の節点は変位自由とし，モデルの左右端には，エネルギー伝達境界を設けた．

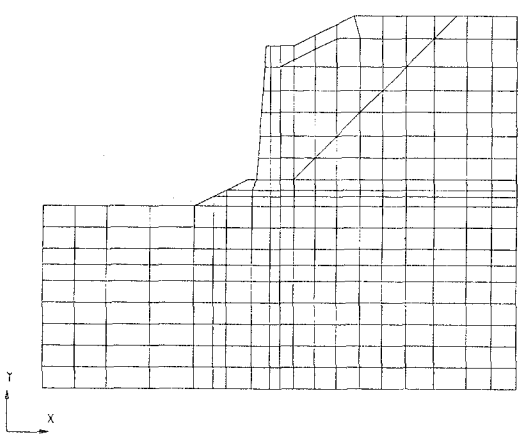
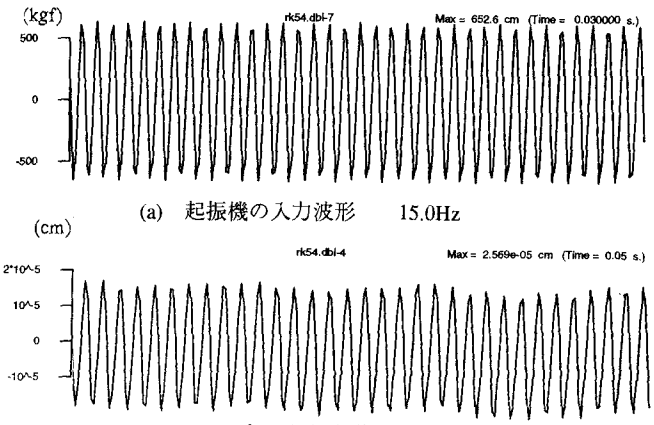


図-3　EPS擁壁直角方向断面の有限要素モデル

物性値の設定：コンクリート擁壁及び床版の物性値は，通常設計に用いられるコンクリートのもの（ヤング率$2.5*10^6$ tf/m^2，ポアソン比：0.16，単位体積重量：2.3 tf/m^3，減衰定数：2.0 %）とし，EPSの物性値は田村らの実験[5]より，ヤング率：$1.08*10^3$ tf/m^2，ポアソン比：0.075，単位体積重量：0.02 tf/m^3，減衰定数：2.0 %とし，ポリマーグリッドの物性値は，ヤング率：$0.27*10^6$tf/m^2，単位体積重量：4.8 tf/m^{3}とした．原地盤及び盛土の物性値は，標準貫入試験とPS検層の結果より求めた．単位体積重量と減衰定数は妥当であると思われる値を用いて有限要素解析を行なった．

4．実験結果と解析結果の比較

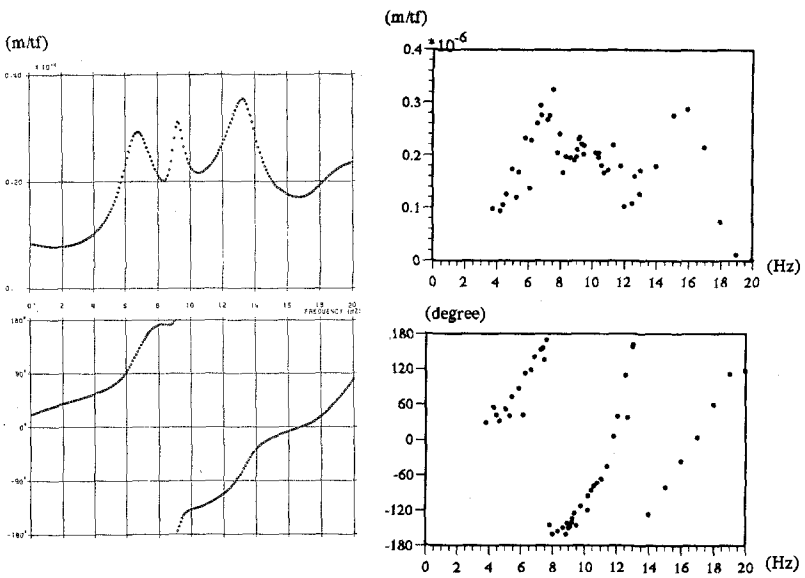
図-4 (a),(b)には，擁壁下部に起振機を設置し，15Hz加振時の起振機の入力波形(kgf)と観測点P5の出力波形(cm)を示す．この入力波形は起振機の加振信号を起振力に直し求めたものである．出力波形は微動計で記録した速度波形に2Hzから20Hzのバンド幅を持つcosineフィルターを掛けて積分し，変位に変換したものである．次に，解析と実験の比較を行う．ここで，実験による伝達関数の振幅は，各振動数帯域で入力波形と出力波形のフーリエ振幅比をとったものである．まず，観測点をP4（水平振幅）とした実験ケース1（水平加振）を例としてみる．解析結果と実験結果の伝達関数（振幅，位相）を図-5に示す．解析結果を見ると，ピーク振幅が約7.0Hz，9.0Hzおよび13.0Hzに，極小振幅が約8.5Hzと10.5Hzに見られる．その時の位相は，ピーク振幅が130度，180度および-65度に，極小振幅が170度と-135度になっている．同様に，実験結果を見ると，ピーク振幅が約7.0Hz，9.5Hzおよび11.5Hzに，極小振幅が約8.5Hzと10.5Hzに見られる．その時の位相は，ピーク振幅が145度，-120度および-25度に，極小振幅が-160度と-80度になっている．さらに，解析結果の位相では，90度，180度および-90度の点の振動数は，約5.0Hz，9.0Hzおよび13.0Hzとなっており，同様に実験結果では，約6.0Hz，8.0Hzおよび10.0Hzとなっている．以上から，解析結果と実験結果を比較すると，振動数に対するピーク振幅は，前の2つが等しく，3つ目は，実験結果が低くなっている．一方，極小振幅は，2つとも等しくなっている．また，同位相に対する振動数は，前の2つが等しく，3つ目は，実験結果が低くなっている．次に，観測点をP5（鉛直振幅）とした実験ケース3（鉛直加振）を例としてみる．解析結果と実験結果の伝達関数を図-6に示す．解析結果を見ると，ピーク振幅が9.0Hzと14.0Hzに，極小振幅が11.0Hzに見られるその時の位相は，ピーク振幅が90度と-90度に，極小振幅が180度になっている．同様に，実験結果を



(a) 起振機の入力波形　15.0Hz

(b) P4地点の出力波形　15.0Hz

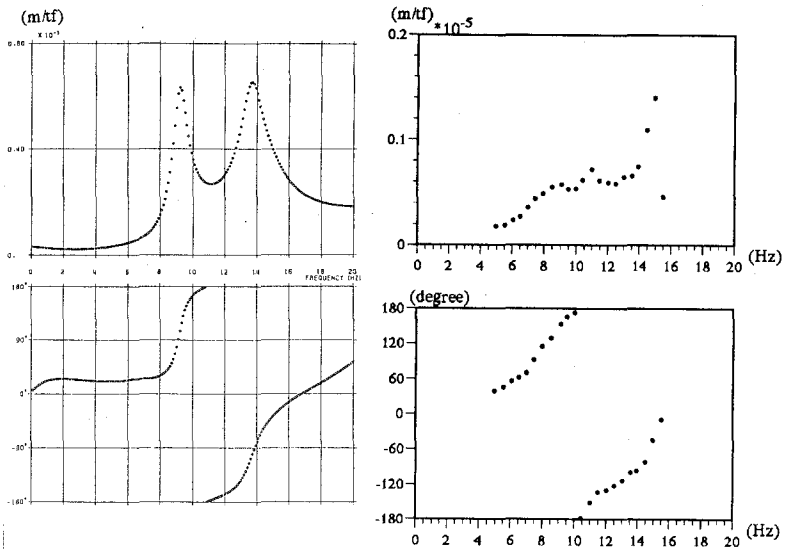
図-4　起振機の入力波形とP4地点の出力波形



(a) 解析結果　　(b) 実験結果

図-5　ケース1の共振曲線

見ると，ピーク振幅9.0Hzと11.0Hzに，極小振幅が9.5Hzに見られる．その時の位相は，ピーク振幅が150度と-150度に，極小振幅が170度になっている．さらに，解析結果の位相では，90度，180度および-90度の点の振動数は，約9.0Hz，11.0Hzおよび14.0Hzとなっており，同様に実験結果では，約7.5Hz，10.0Hzおよび14.0Hzとなっている．以上から，解析結果と実験結果を比較すると，振動数に対するピーク振幅は，1つ目が等しく，2つ目は，実験結果が3.0Hz低くなっている．一方，極小振幅は，実験結果が1.5Hz低くなっている．また，同位相に対する振動数は，3つ共ほぼ一致している．



(a) 解析結果　　(b) 実験結果

図-6　ケース3の共振曲線

次に両ケースにおける解析結果と実験結果の伝達関数の振幅値を比較すると，両ケースとも，解析結果が実験結果の100倍程度の値となっている．この理由としては，起振機実験では地盤上に起振機を設置し，点加振を行っているので，力の伝達が3次元的に拡がっていくと考えられる．しかしながら，平面ひずみの数値解析では，単位奥行き当たりの帯加振として計算しており、入力が伝わる有効幅を考慮した概念が必要となろう．また，起振力が必ずしも全て地盤に伝わっていない可能性もあり，これらに関する詳細な検討が今後必要と考えられる．

5．まとめ

横須賀市逸見浄水場に構築されたEPS盛土-擁壁を実験対象とした起振実験とその有限要素解析により求めた伝達特性から確認できたこととして，解析結果と実験結果における伝達関数の傾向は振幅，位相共にほぼ等しくなり，ピーク振幅や極小振幅を示す振動数がほぼ一致している．また，解析結果と実験結果における伝達関数の振幅値には，大きな差異が見られ，この理由として，実験では起振力の伝達が3次元的であるのに対し，解析を2次元で行っていることや，起振力の地盤への伝達が完全ではないことなどが考えられる．

参考文献

1）発泡スチロール土木工法開発機構：EPS工法，理工図書，1993

2）堀田・西・只津：発泡スチロール材料の動的変形特性，第26会土質工学研究発表会，1991

3）松田・能登・西川・三浦：EPSを用いた道路横断構造物の土圧軽減に関する模型実験，第27会土質工学研究発表会，1992

4）山崎・榛田・大保・片山：EPS盛土-擁壁系の地震観測およびその有限要素解析，生産研究，Vol.44.No8,1992

5）田村・小長井・都井・芝野：発泡スチロールブロック集合体の動的安定性に関する基礎的研究（その1），生産研究Vo1.41.No9,1989