

根入れの深い連壁剛体基礎橋脚の動的応答解析結果について

菊地 敏男 後藤 洋三

Dynamic Response Analysis of Pier with Deep Caisson-type Wall Foundation

Toshio Kikuchi Yozo Goto

Abstract

The purpose of this study is to obtain data for earthquake-resistant design of a caisson-type wall foundation through dynamic response analysis by means of the finite element method considering an axisymmetric rotating body. One of the characteristics of this caisson-type wall foundation is its deep element (-34.5 m), while the ground has a fairly hard stratum between the surface and the bearing stratum. The following two points were therefore investigated. (1) Behaviors of the inner soil surrounded by the wall foundation. (2) Dynamic properties of the foundation which exists in the intermediate hard stratum. As a consequence of these studies the following results were obtained. (1) The inner soil surrounded by the wall vibrates as one body with the wall foundation. (2) The deflection mode of this foundation shows a slight flexibility, which is restrained by the intermediate hard stratum. (3) Bending moment and shear force of this foundation increase around the intermediate bearing stratum, but the values are below the allowable force of the structure.

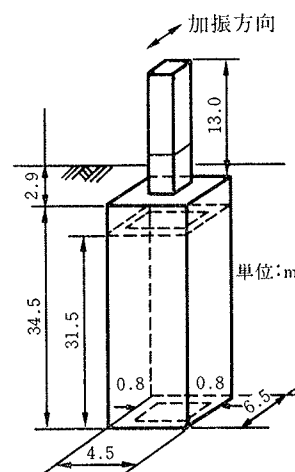
概 要

連壁剛体基礎の耐震設計を行なう場合の資料を得る目的で軸対称回転体有限要素法により、動的応答解析を実施した。対象とした連壁剛体基礎は、前報で述べた起振機実験のシミュレーション解析を実施した構造物で、その特徴は深さ34.5mと根入れが深く、 -20 m付近に支持層と同程度の硬い層（中間支持層）が存在する。このため、検討項目を次の2点とした。(1) 連壁剛体基礎における内部地盤の挙動、(2) 中間支持層の有無による連壁剛体基礎の応答特性。この結果、(1) 連壁内部地盤は基礎と一体となって振動すること、(2) この基礎はややたわみ性を有しており、中間支持層で拘束された変位分布を示すこと、(3) この基礎の曲げモーメント、せん断力は中間支持層付近で増加するが、許容値以内であること、などが明らかになった。

1. まえがき

連壁剛体基礎は、地中壁間を水平鉄筋のラップジョイントその他で剛結し、Box型の閉合断面とするもので、ケーソン基礎に代わる形式として根入れの深い場合でも利用するケースが増えてきている。この基礎はケーソン基礎と比較して、①施工法の相違から内部地盤がそのまま残ること、②基礎底部が閉塞されていないこと、③断面剛性の違いからたわみ性を有すると考えられること、などの特徴があげられ、設計手法上はケーソン基礎と杭基礎との中間にあるものとして位置づけられている。このような特徴が連壁剛体基礎の動的応答にどのような影響を与えるか明らかにし、耐震設計の資料を得る目的で、

軸対称回転体有限要素法により動的応答解析を実施した。解析の対象とした連壁剛体基礎は、前報で述べた起振機実験のシミュレーション解析を実施した構造物で、その特徴は基礎の断面寸法と比較して根入れが深くスレンダーな形状をしており、地盤は深さ方向に一樣でなく基礎の中間



図一1 橋脚の概要

に支持層と同程度の硬い層（中間支持層と称する）が存在する。このため、検討項目を中間支持層の有無による①連壁剛体基礎における内部地盤の挙動の変化、②連壁剛体基礎の応答特性の変化、の2点とし、上部および基盤から加振した場合と、基盤から地震波を入力した場合の面から比較、検討した。

2. 橋脚基礎と地盤の概要

橋脚基礎の概要を図-1に示した。基礎は-37m付近の礫混り砂層に支持されており、連壁部分の断面形状は4.5×6.5m、壁厚0.8mである。橋脚部分を除く基礎の長さは34.5mである。橋脚近傍地盤の概要を図-2に示した。この地盤の断面構成は、-14m付近までが $q_u=0.6\sim 0.8\text{kg/cm}^2$ の軟弱な粘土層、-19m付近までが $N>50$ の密実な洪積砂礫層、-32mまでが $q_u=1.6\sim 1.8\text{kg/cm}^2$ の比較的硬い粘性土層、以下 $N>50$ の礫混り砂層となっている。同図には、弾性波試験によって得られた各層のせん断波速度を示している。

3. 解析方法

解析は、モデル化した地盤の側方にエネルギー伝達境界を有し、下方に粘性境界を有する軸対称回転体有限要素法により行なった。実際の構造物は橋脚、基礎とも矩形であるが、橋脚は半径1.4mの曲げ円筒、フーチングは半径3.05mの剛な円板とし、連壁部分はシェル要素に置換した。解析モデルにおける内部地盤の剛性、質量は外部地盤と同様にした。地盤の定数は弾性波試験からの値を用い、中間支持層がない場合の定数は第2層と等しい値を設定した。ここで、中間支持層がある場合、ない場合のモデルをそれぞれAタイプ、Bタイプとした。各

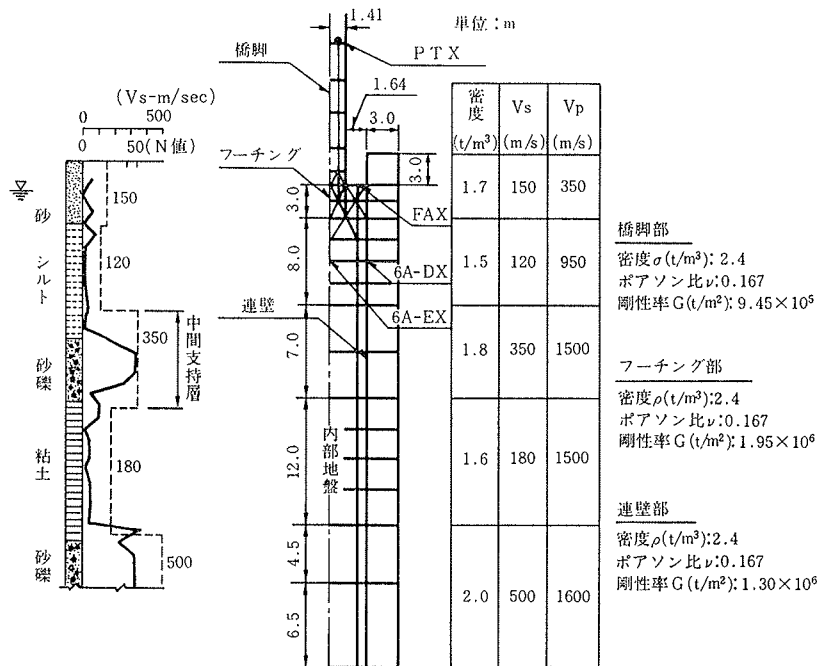


図-2 地盤の概要と解析モデル

素法により行なった。実際の構造物は橋脚、基礎とも矩形であるが、橋脚は半径1.4mの曲げ円筒、フーチングは半径3.05mの剛な円板とし、連壁部分はシェル要素に置換した。解析モデルにおける内部地盤の剛性、質量は外部地盤と同様にした。地盤の定数は弾性波試験からの値を用い、中間支持層がない場合の定数は第2層と等しい値を設定した。ここで、中間支持層がある場合、ない場合のモデルをそれぞれAタイプ、Bタイプとした。各

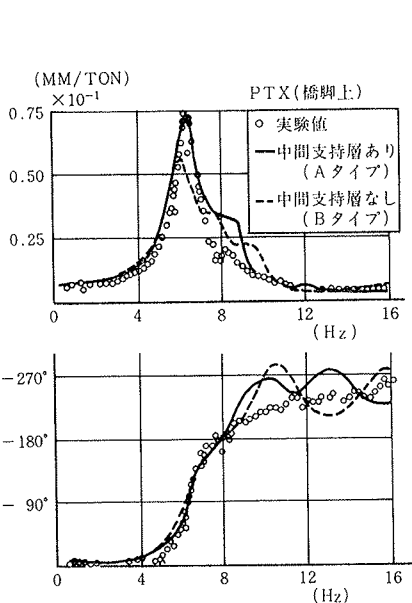


図-3 橋脚上の共振、位相曲線

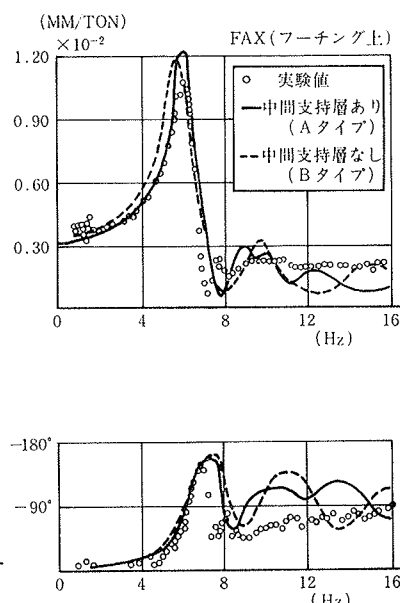


図-4 フーチング上の共振、位相曲線

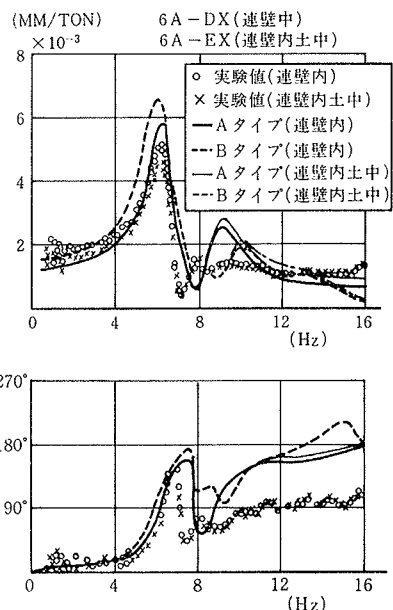


図-5 連壁、内部地盤の共振、位相曲線

部の減衰定数は構造物で1%，地盤で3%とした。上部加振の場合は単位起振力をフーチング上に作用させた。なお、地震波としては、El-Centro波と八戸波を用いて基盤に最大加速度100 galを入力した。

4. 解析結果

4.1. 上部加振の場合

橋脚上、フーチング上、連壁および連壁内部地盤における共振曲線と位相曲線を示したものが図-3～図-5である。図中、○印、×印は実験値であり、太い実線(—)、太い点線(⋯⋯)は、それぞれAタイプとBタイプの場合の解析値である。ただし図-5での○印は連壁中の場合であり、×印、細い実線(—)、細い点線(⋯⋯)は、連壁内部地盤である。これらの図より、橋脚上の振幅はAタイプの方がBタイプに比較して、1.3倍程大きい。しかしフーチング上では同程度となり、基礎部では逆の傾向が見られる。そこで、基礎部における6.3Hz付近のピーク値の振幅を深さ方向に示したものが図-6である。図中、実線(—)、点線(⋯⋯)は、それぞれAタイプとBタイプであり、◎印は実験値である。図より、連壁部分の振幅は、Bタイプの方がAタイプより大きい傾向を示す。このように、Aタイプにおける橋脚上の振幅が大きいのは、橋脚が中間支持層から上の地盤と連成するためであり、基礎部では中間支持層で拘束されるためと考えられる。6.3Hz付近のピークの振動数はAタイプの方がBタイプより0.25Hz程高く現われている。また連壁と連壁内部地盤を比較すると、共振曲線、位相曲線はAタイプ、Bタイプの場合にかかわらず一致しているため、内部地

盤は連壁と一体となって振動していると思われる。

4.2. 地震応答の場合

(1) 伝達関数

橋脚上、フーチング上、連壁および連壁内部地盤における振幅曲線、位相曲線を示したものが図-7～図-9である。図中、太い実線(—)、太い点線(⋯⋯)は、それぞれAタイプとBタイプの場合である。ただし、図-9での太い実線、太い点線は連壁中の場合であり、細い実線(—)、細い点線(⋯⋯)は連壁内部地盤の場合である。図より、橋脚上では7～8Hz付近に大きなピークを持ち、上部加振の場合と同じ傾向が見られるが、フーチング上、連壁および連壁内部地盤は、上部加振で顕著に現われない1～1.5Hz付近のピークが卓越する。1～1.5Hz付近のピークは地盤1次の卓越振動数と推定されるため、地震応答の場合はこの振動数に支配される。ピークの振動数は、Aタイプの方がBタイプに比較し、0.25Hz程大きく現われている。また連壁と連壁内部地盤を比較すると、各測点での振幅曲線、位相曲線は一致しているため、一体となって振動していると思われる。

(2) 応答波形とフーリエスペクトル

入力したEl-Centro波と

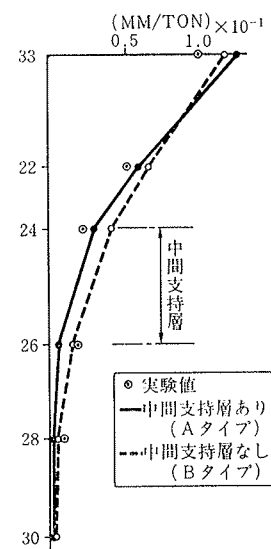


図-6 ピーク値の振幅

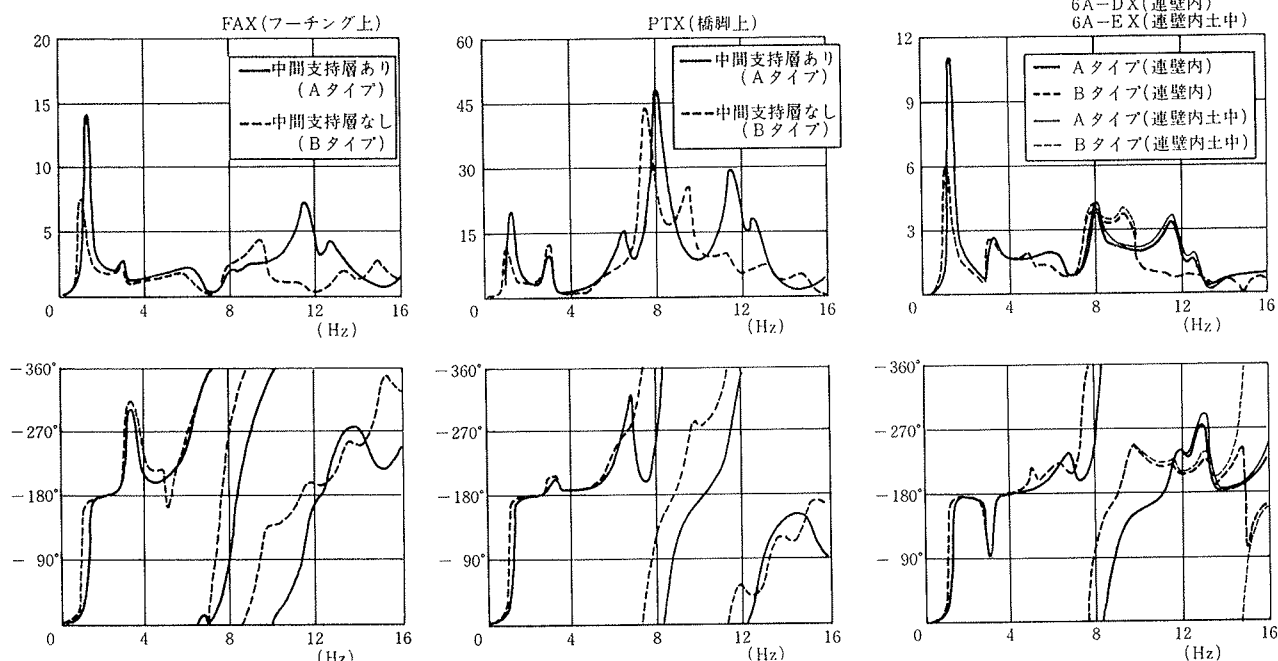
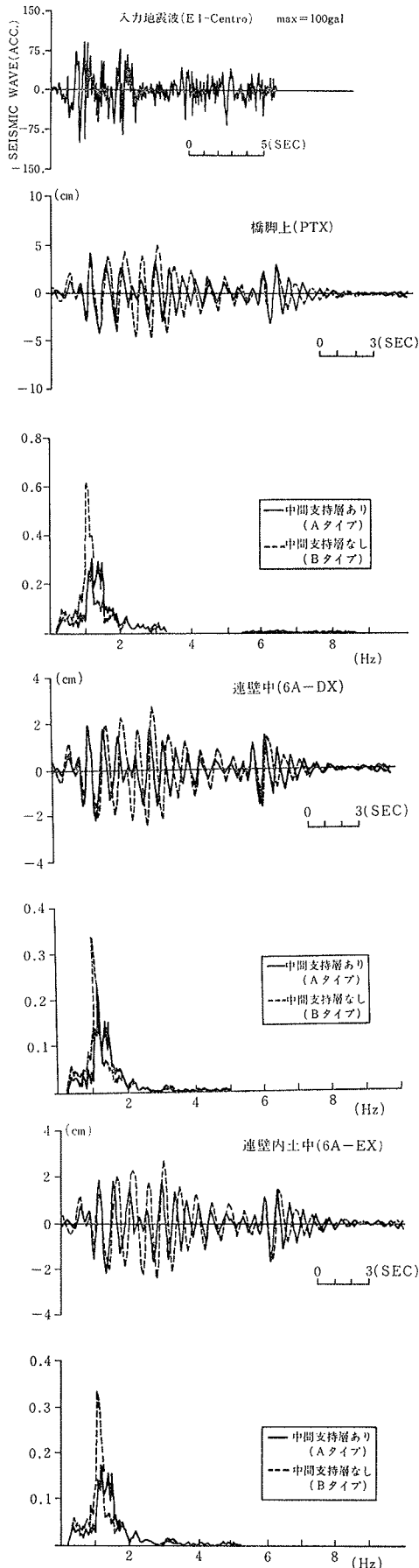
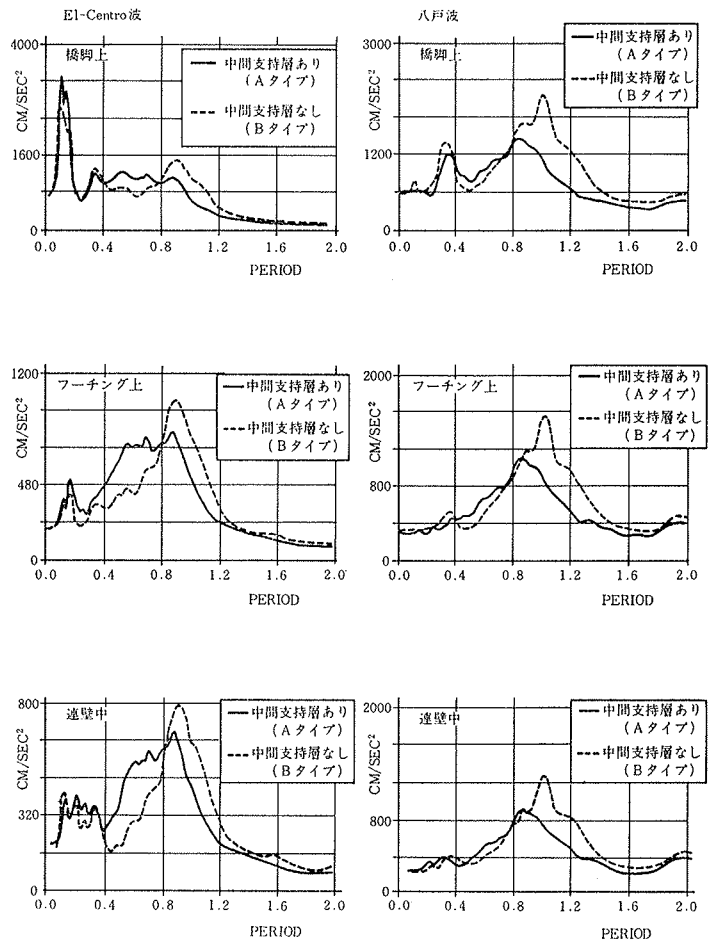


図-7 橋脚の振幅、位相曲線 図-8 フーチング上の振幅、位相曲線 図-9 連壁、内部地盤の振幅、位相曲線



図一〇 El-Centro 波を入力した時の応答波形



図一〇 橋脚上，フーチング上，連壁内の応答スペクトル

橋脚上，連壁内および連壁内部地盤の応答変位波形，フーリエスペクトルを示したものが図一〇である。図中，実線(—)，点線(.....)は，それぞれAタイプとBタイプである。図より，AタイプとBタイプの波形は様相の違う傾向を示している。Aタイプの場合は，入力地震波に相似し，5秒付近で振幅の小さくなる傾向が見られるが，Bタイプの場合は最初の立上がりから増幅している。このことは，中間支持層がないため，地盤の振動特性が変化したものと思われる。各測点のフーリエスペクトルは上部加振の場合と相違し，地盤1次の卓越振動数に支配される。橋脚上では6~7Hzに小さなピークが現われるが，連壁と連壁内部地盤ではほとんど現われない。この傾向はAタイプ，Bタイプによらず変わらない。また，連壁と連壁内部地盤を比較すると，波形とフーリエスペクトルは，Aタイプ，Bタイプの場合でそれぞれ一致しており，地震波の場合でも一体となって振動していると思われる。

(3) 応答スペクトル

橋脚上，フーチング上，連壁内で得られた加速度波形

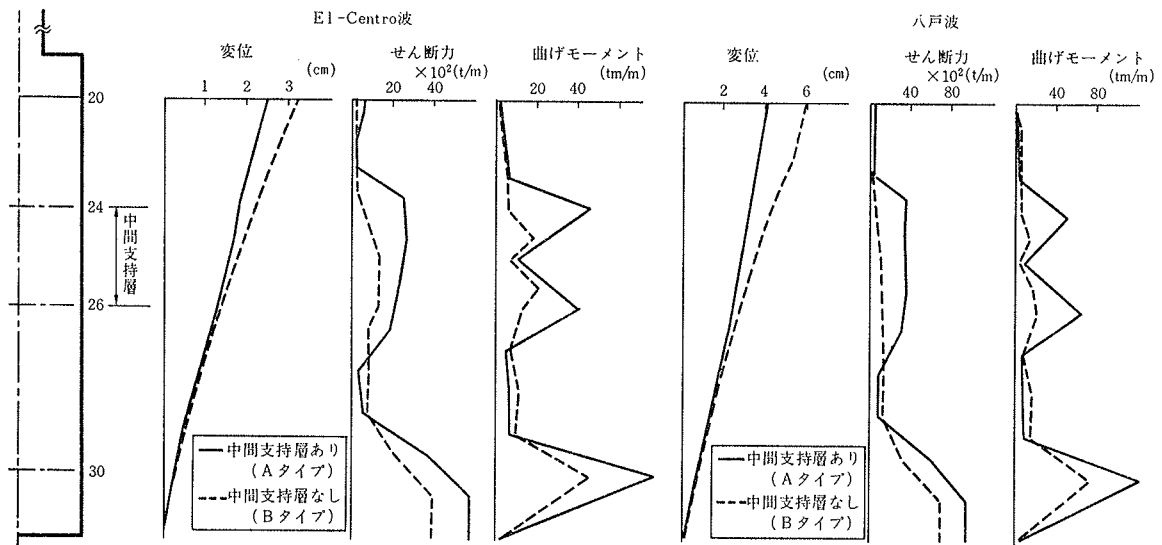


図-12 最大変位, 最大せん断力, 最大曲げモーメント

の応答スペクトルを図-11に示した。図中、左側は El-Centro 波, 右側は八戸波の場合であり, 上から橋脚上, フーチング上, 連壁内である。また実線(—), 点線(.....)はそれぞれ A タイプ, B タイプの場合である。図より, El-Centro 波入力の場合, A タイプ, B タイプによらず橋脚上では 0.12 秒付近に大きなピークが見られるが, フーチング上および連壁内では 0.9 秒付近のピークが卓越する。このピークは地盤 1 次の卓越周期と推定される。八戸波のように長周期成分を含む地震波入力の場合は, この周期に支配されるものと思われる。0.9~1.0 秒付近のピークについて見ると, ここで検討した二つの地震波の卓越周期は, A タイプの方が B タイプより短い方に移行し, 振幅は小さくなる傾向にある。

(4) 最大変位, 最大せん断力, 最大曲げモーメント

連壁中の最大変位, 最大せん断力, 最大曲げモーメント分布を深さ方向に示したものが図-12である。図中, 左側は El-Centro 波, 右側は八戸波の場合であり, 実線(—), 点線(.....)は, それぞれ A タイプ, B タイプの場合である。これらの図より, A タイプ, B タイプについて比較すると次のようになる。最大変位は A タイプの方が B タイプより小さく, 中間支持層で拘束された分布を示すが, それ程顕著な差は現われない。最大せん断力, 最大曲げモーメントは中間支持層付近で大きくなり, せん断力の場合で 2~6 倍, 曲げモーメントの場合で 1~7 倍増加する。また, この傾向は地震波の種類によらず現われている。このように中間支持層の存在は, せん断力, 曲げモーメントに影響を与えることがわかる。しかし, 最大値を示すせん断力, 曲げモーメントから応力度の検討をすると, せん断応力度で 3.3 kg/cm², 曲げ圧縮応力度で最大 10.4 kg/cm², 最小 1.6 kg/cm² となり, 許容値以

内である。

5. まとめ

この解析から得られた結果をまとめると, 以下のようになる。

- (1) 連壁剛体基礎内部の地盤は, 中間支持層の有無によらず基礎と一体となって振動する。
- (2) 上部加振解析の場合は, 橋脚と中間支持層から上の地盤が連成し 6~7 Hz 付近のピークが卓越するが, 地震応答解析の場合は, 地盤 1 次の卓越振動数と考えられる 1~1.5 Hz 付近のピークが卓越する。中間支持層の有無の影響は, 1~1.5 Hz 付近のピークの近傍にあらわれる。
- (3) 連壁剛体基礎は, ややたわみ性を有しており, 中間支持層で拘束された変位分布を示す。
- (4) 中間支持層の存在は, せん断力, 曲げモーメントに影響を及ぼすが, 許容値以内であった。

謝 辞

起振機実験を実施するにあたり, 終始ご協力頂きました阪神高速道路公団の関係各位に心からお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 金谷, 他: 連壁剛体基礎の水平耐力特性について, 大林組技術研究所報, No. 29, (1984), pp. 108~118
- 2) 菊地, 他: 連壁剛体基礎橋脚の振動特性 (その 3), 土木学会第 12 回関東支部技術研究発表会講演集, (昭和 60. 3), pp. 29~30
- 3) 菊地, 他: 連壁剛体基礎橋脚の振動特性 (その 4), 土木学会第 40 回年次学術講演会講演概要集 (第 I 部門), (昭和 60. 9), pp. 683~684