

# 地盤との動的相互作用における ニールセン橋の地震応答性状

竹宮宏和<sup>1</sup>・伊吹善仁<sup>2</sup>・池内博<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 岡山大学教授 環境理工学部 環境デザイン工学科 (〒700 岡山県岡山市津島中3)

<sup>2</sup>正会員 工修 大阪府

<sup>3</sup>学生会員 岡山大学大学院

本研究は、ニールセン橋の地震応答性状を地盤との動的相互作用において調べたものである。ニールセン橋の特徴は、上弦材よりなるアーチ機構で、ケーブルを介して下弦材の加重負担を軽減するところにある。応答性状として、面外方向には上弦材と下弦材の振動が連成し、その際、部材には大きな軸力が発生する。一方、面内方向には下弦材の上下振動が重要となるが、全体として、強軸方向に移動する上部構造との連成における下部構造の耐震性も検討している。阪神大震災で指摘された周辺地盤の側方流動による基礎の大変形に伴う上部構造の耐震性を評価するために、変位入力動を採った解析法が必要である。今回の解析では、従来からの加速度入力による場合の解析結果との比較検討を行っている。

**Key Words :** dynamics analysis , dynamics interaction , mode of vibration , impedance function

## 1. はじめに

兵庫県南部地震は、都市直下型地震であり、神戸ー伊丹間の高架橋が倒壊・破壊するなど近代都市施設に多大な被害を与た。これを契機に土木構造物の耐震設計の見直しかなされ、道路橋示方書が改訂され<sup>9)</sup>、橋梁の耐震設計において、従来の震度法にとって代わって動的解析に基づく安全性の確保が明文化されている。

そこで、本研究では、ニールセン橋の地震応答状態を地盤との動的相互作用において調べている。ニールセン橋の応答性状として、面外方向には上弦材と下弦材の振動が連成し、その際、部材には大きな軸力が発生する。一方、面内方向には下弦材の上下振動が重要となるが全体として橋軸方向に移動する上部構造との連成における下部構造の耐震性を検討している。

また、地盤に動的効果を考慮するために基礎に地盤ばねを配置し、対象とする基礎のモデル化、自由度に応じて基礎ばねとして評価しているが、杭基礎については杭頭ばねとして、ケーソン基礎については深い根入れのため井筒ケーソン部を曲げせん断要素に分割し、各節点において水平面内の自由度に応じた水平2方向ばねとし、道路橋示方書に従いそれを評価している。

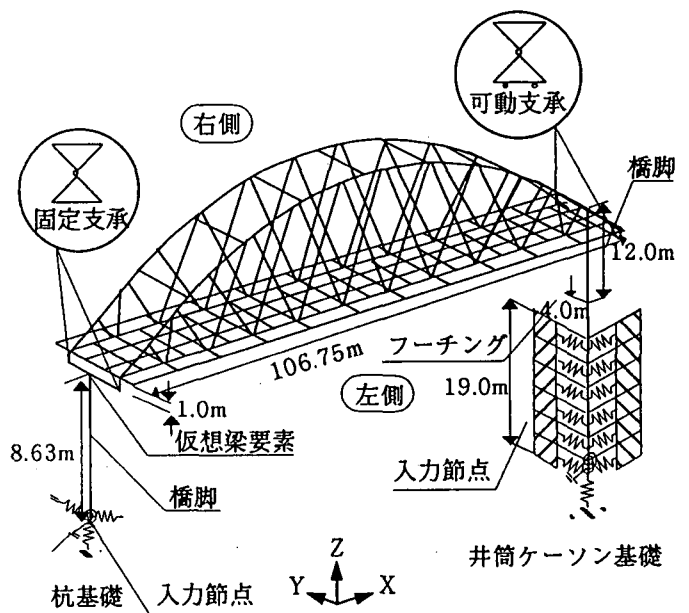


図1 全体系モデル

そして、従来からの加速度入力による場合と免震支承等を導入した橋梁の多点入力系としての解析が可能である変位入力動を採った場合の解析精度の検討を行っている。解析手法として、3次元フレーム構造の多質点入力系でFEMを用いて振動数領域において解析を行っている。

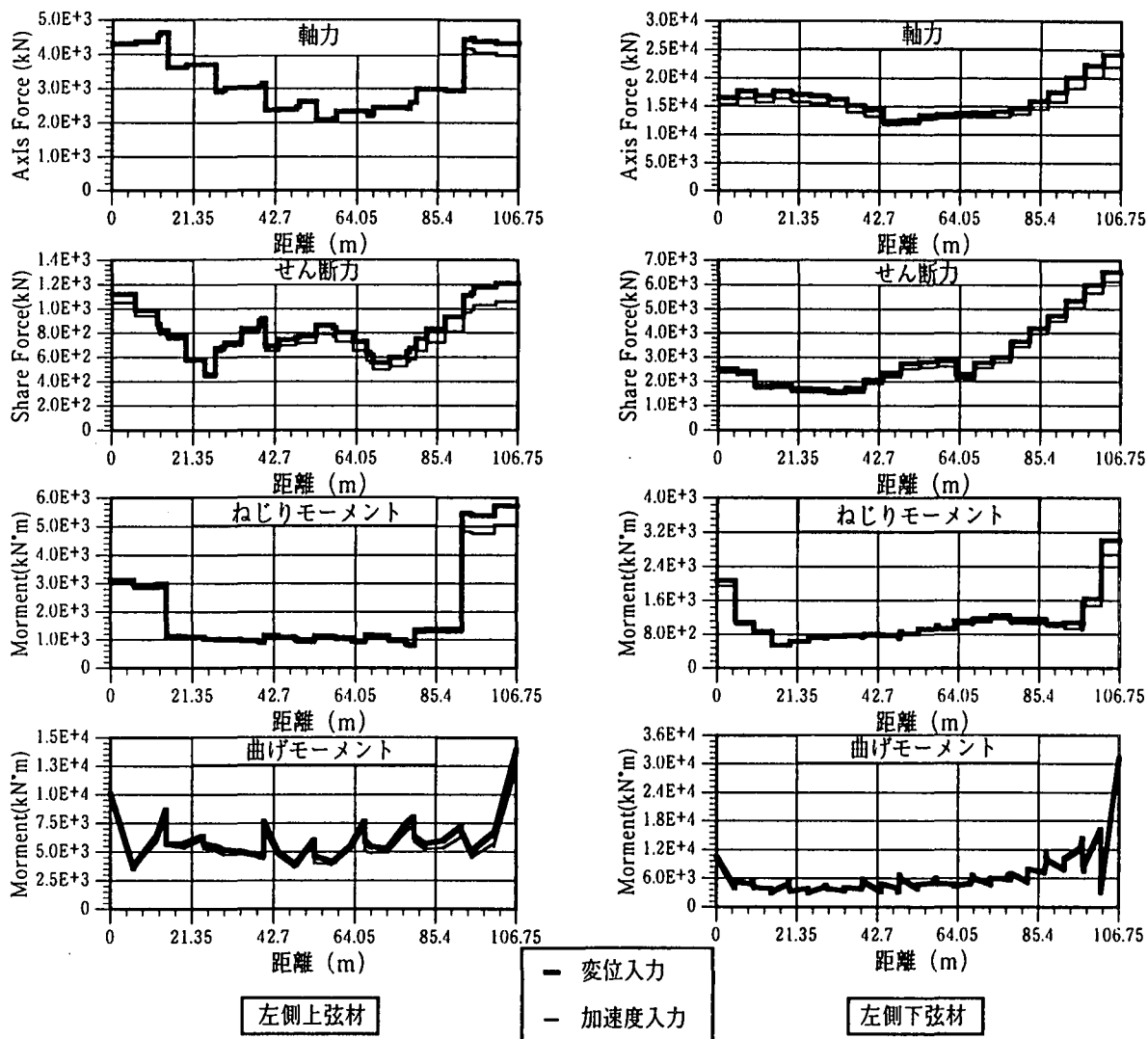


図2 断面力の最大値分布 (面外)

## 2. 全体系モデル及び解析

### (1)モデル化

橋脚本体を3次元梁要素に分割して、上部構造と結合して全体系モデルとする。上部構造物は各部材を3次元立体骨組み要素として取り扱いフレーム解析を行う。PCケーブルは軸力が引張強度内に常に存在するとし、常に引張・圧縮の線形挙動をとると仮定する。このため、軸方向においては梁要素と同じ挙動をとるものと仮定でき、軸方向以外では、剛性を非常に小さくすることにより、ケーブルとして評価した。また、RCコンクリート床盤、アスファルト舗装、中央分離帯及び欄干等については剛性を考慮せず、重量のみを上載荷重として組み込んだ。杭基礎橋脚部では、橋脚底端1節点において地盤ばねと結合した。また、ケーソン基礎橋脚部では、フーチング及びフーチング以下の鋼管矢板井筒ケーソンを梁要素として組み込み6節点で地盤ばねと結合する。また、隣接する橋梁の重量を考慮するため、杭基礎橋脚上端におい

てその半分を考慮した。以上の全体系モデルについて、図1に示す。

### (2)固有モード解析

全体系モデルの固有モードでは面外モードが低い固有振動数で連続して出現しており、特に2次モードと5次モードと6次モードにおいて橋脚の挙動に関係するものが出現している。このほとんどにおいて、井筒ケーソン基礎橋脚に関係しており、全体においても面外剛性は面内剛性に比べて低いことが分かる。

### (3)全体系モデル解析

入力地震波には兵庫県南部地震における神戸海洋気象台のNS成分を使用した。応答計算をする際に、加速度入力では12Hzまで、変位入力の場合は4Hzまで振動数帯域をとり、面外(橋軸直角方向)、面内(橋軸方向)にそれぞれ変位及び加速度において入力した。

#### a)面外(橋軸直角方向)

図2に断面力の最大値分布を示す。軸力は上弦材では橋脚寄り大きく、スパン中央部で小さくなる。下弦材は井筒ケーソン基礎橋脚寄り大きく、他の断面ではほぼ

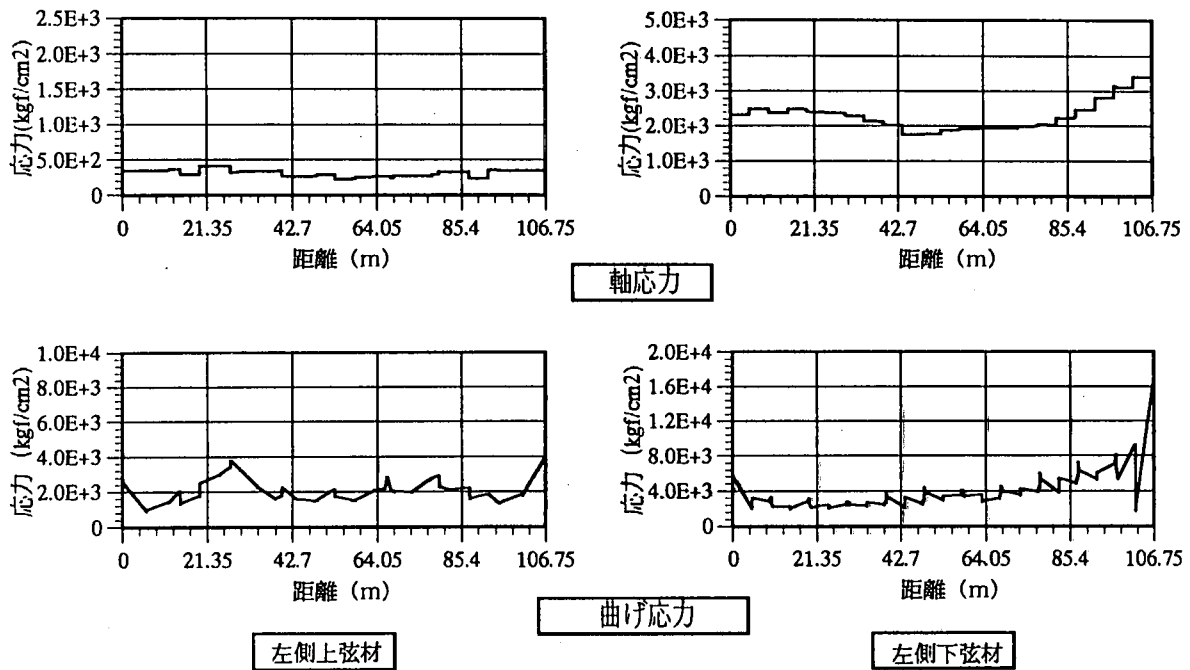


図-3 応力の最大値分布 (面外)

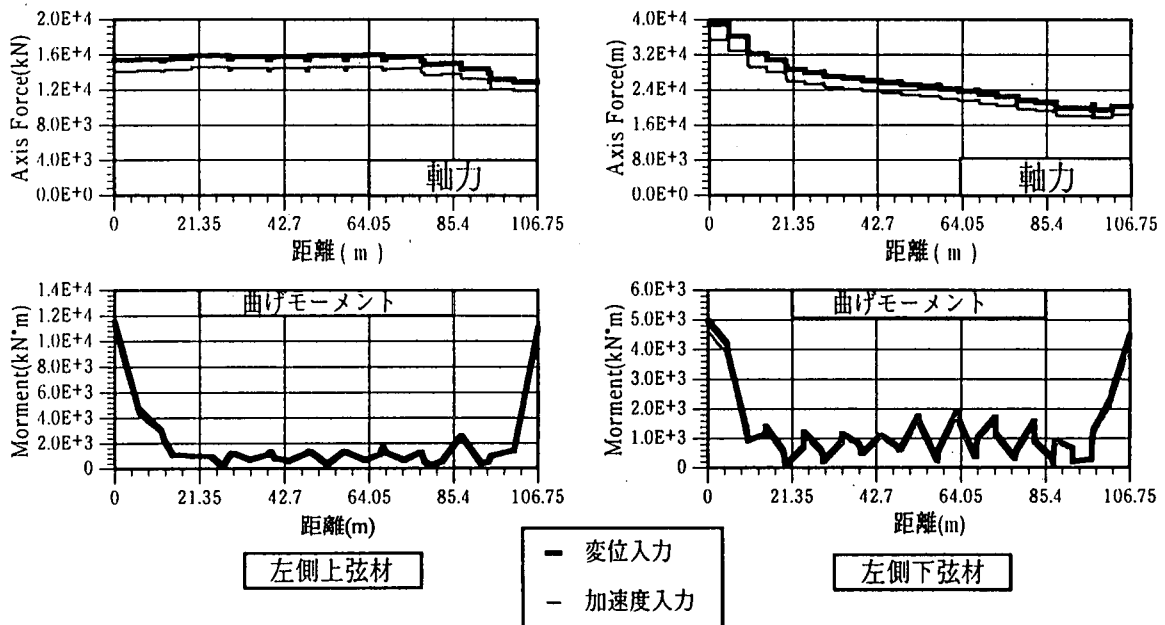


図-4 断面力の最大値分布 (面内)

一定である。せん断力は上弦材ではスパン端部で大きく、中央部では主構面によって異なる分布であり、これは固有振動モードが大きく関係している。しかし、下弦材では両主構面ではほぼ同程度の応答値である。ねじりモーメントは上下弦材ともスパン端部で大きい。上下弦材の比較では、下弦材の方が数倍大きく、主構面の慣性力による結果である。曲げモーメントは上下弦材ともケーブル張力の影響による凹凸はあるものの、ケーソン基礎橋脚近傍を除いてほぼ一定である。

次に、図3に応力の最大値分布を示す。軸応力と曲げ応力では上弦材では曲げ応力はケーソン基礎橋脚近傍で急激に増大し軸応力の4倍にもなる。

b) 面内 (橋軸方向)

図4に最大断面力分布図を示す。軸力は上弦材はスパン全長でほぼ一定であり、下弦材は杭基礎橋脚からケーソン基礎橋脚に向かって漸減している。ねじりモーメントは杭基礎橋脚端とケーソン基礎橋脚端で最大値をとり、スパン中央が零に近い。つまり、両端部が固定の様相を

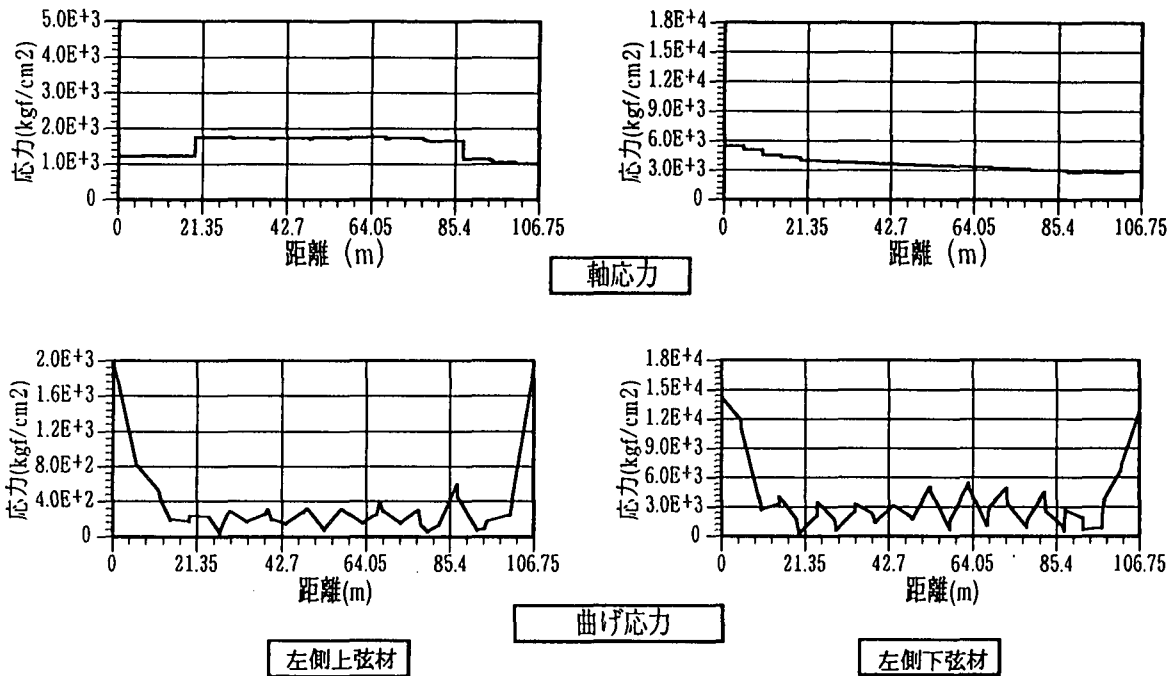


図-5 応力の最大値分布 (面内)

なしている。曲げモーメントはスパン両端部が非常に大きな値をとり、その他の断面では数分の1から10分の1程度であることが分かる。曲げ応力と軸応力は支承近くで大きな応答値をとり、また、上弦材よりも下弦材の方が大きい値となっている。

次に、図5に応力の最大値分布を示す。軸応力は上弦材ではスパン端部よりもそれ以外の断面で大きく発生している。下弦材は、上弦材より大きな応答値でスパン全体でほぼ一定である。曲げ応力と軸応力を比較すると最大応力値は上弦材でほぼ同じオーダーであるが、下弦材では杭基礎橋脚端部の曲げ応力が最大である。

### 3. 結論

本研究は地盤と基礎と上部構造の動的相互作用系としての地震応答解析を行った。解析手法は振動数応答法をとった。入力地震波には兵庫県南部地震の神戸海洋気象台の記録(NS成分)を使用した。解析を通して得られた結果をまとめると、

(1) 変位入力と加速度入力による解析結果はよい一致をみた。このことは得られた応答値の精度の保証になる。

(2) ニールセン橋の地震応答性状の特徴として、橋軸直角方向、橋軸方向の独立な入力状態でも、主構面に発生する慣性力のため応答はそれらの組合わさったものであり、3次元の挙動を捉える必要がある。下弦材においては、前者の状態、後者と同程度の軸応力が発生している。

(3) 下部構造の剛性が上部構造の動特性を大きく変化させるため、それらの連成系としての地震応答解析をしなければならぬ。特に、杭基礎橋脚部の剛性よりも井筒ケーソン基礎橋脚部の剛性が上部構造物をねじれさせる。

(4) 動的解析の結果、対象ニールセン橋は橋軸直角方向の地震入力に対する耐震解析が橋軸方向入力より設計断面を決定させる。下部構造との連成で、かなりの程度の軸力による応力が下弦材に発生し、またスパン端部の非常に大きな曲げによる応力となる。

### 参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会；道路橋示方書・同解析耐震設計編、1996年12月