

I-14 地盤応答変位を考慮した白鳥大橋の耐震設計

室蘭開発建設部	正会員	大橋	猛
〃	〃	池田	憲二
〃	〃	大沼	秀次

1. まえがき

橋梁下部工の耐震設計は道路橋示方書Vの、構造物の応答を考慮した修正震度法が広く用いられている¹⁾。この方法は、設定した設計地盤面より上の重量に対し、構造物の固有周期により応答を考慮した修正震度を掛けるものである。しかし、剛性が高く、地中に十分根入れされた基礎構造物においては、側方の土の影響のため、構造物固有の振動モードは現われにくく、地盤の振動モードに支配される。

一般国道37号、白鳥大橋の下部工耐震設計においては、この点を考慮し、応答変位法²⁾の概念を取り入れるつもりである。本報は、この白鳥大橋下部工の耐震設計について報告するものである。

2. 白鳥大橋と下部工耐震設計の概要

北海道で唯一の鉄鋼業を背景とする重工業都市室蘭の地形は、鍵状半島により特徴づけられる。この地形は、室蘭に天然の良港をもたらしたが、陸上交通においては袋小路となり、弱点となっている。白鳥大橋はこれを克服すべく、半島先端部の祝津町と対岸の陣屋町の海上、約1.5kmを結ぶ、室蘭港横断橋である。以下に橋梁諸元を示す。

橋梁形式	:	3径間2ヒンジ補剛吊橋
桁形式	:	鋼床版箱桁
径間割	:	330 + 720 + 330 (m)

基礎工は、アンカレイジがニューマチックケーソン、主塔はオープンケーソン、多柱式基礎、大口径鋼管杭の3案を比較検討している。

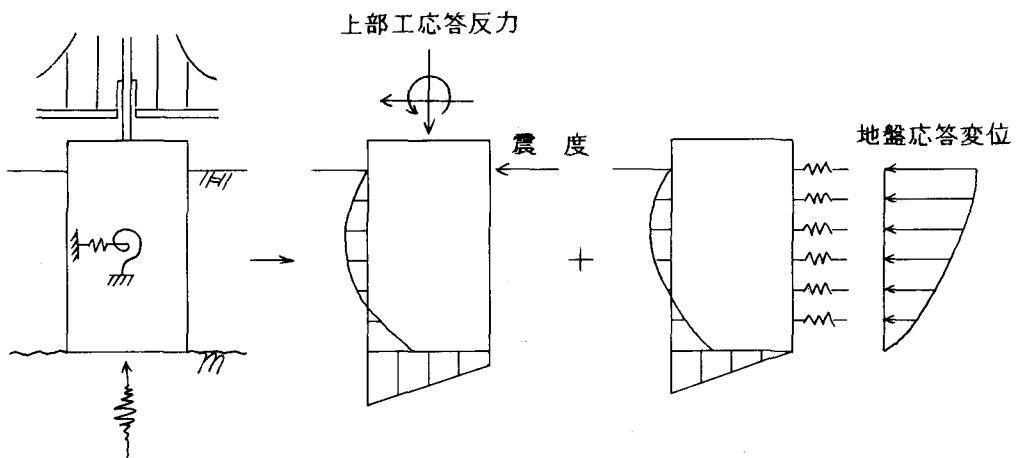


図-1 基礎工耐震設計の模式図

主塔基礎は、架橋地点の第4紀沖積及び洪積層が厚い（支持岩盤が深い）ため、世界でも有数の大深度大規模基礎工となっている。そこで、基礎工～地盤系の振動解析を試みた結果、この系の振動は、地盤1次モードの振動に大きく支配されていることがわかった。そこで地中部については、地盤の地震時応答変位をバネを介して入力するという、沈埋トンネルやガスパイプライン等の地中線状構造物の耐震設計によく用いられる、応答変位法を採用している。すなわち、設計地盤面より上の重量に対しては震度を、下に対しては地盤応答変位をバネを介して入力する方法である。図-1にその模式図を示す。

3. 入力地震動の設定²⁾

従来の長大橋梁では、再現期間100年に相当する地震動を想定するのが一般的である。本橋においても、この考え方により入力地震動の大きさを決めることとした。架橋地点より約1kmの所に、室蘭港湾建設事務所のSMA C-B₂型強震計（以下、室蘭-S）が設置されており、1968年十勝沖地震の強震記録をはじめ、多くの記録が得られている。特に最大加速度20gal以上の記録については運輸省港湾技術研究所より公表されている³⁾。そこで、これらの記録について室蘭-S地点における、重複反射理論による地盤応答解析を実施し、基盤地震動を求めた。この結果により、室蘭においては、各種提案されている地震動の推定式（距離減衰式）⁴⁾のうち、金井式が最も精度よく推定できることがわかった。この金井式を基に、室蘭での基盤入射加速度推定式を作成した。

$$\log A = 0.744M - (4.39/R + 2.03) \log R - (2.23/R - 0.725) \dots\dots \textcircled{1}$$

A；基盤入射加速度（gal）

M；マグニチュード

R；震源距離（km）

理科年表には有史以来の大地震の記録が整理されている。ここでは、記録の信頼性を考慮して、室蘭に影響を与えたであろう地震のうち、明治以降のものを抽出した。これらを式①に代入し、順序統計解析を行なった結果、再現期間100年に対応する基盤加速度100galを得た。しかし、本橋耐震設計の入力値を決定するに際しては、式の精度、データのばらつき、既往最大記録（1968年十勝沖地震時、基盤106gal）などを考慮して、120galを採用した。

本橋の入力地震動はこの120galを基にして、基盤応答加速度スペクトル（以下、基盤-SA）で定義することにしている。そこで再び室蘭-Sの記録のうち、地表150gal以上を記録した3地震の基盤波を求め、これの最大加速度を120galにして、基盤-SAを計算し、これの平均で定義した。なお、3P地点に於いて、この3地震波を立ち上げ、地表面での平均応答スペクトルを計算したところ、建設省土木研究所で入力地震動として推奨するL₁（室蘭、4種地盤）によく一致することがわかった。⁵⁾

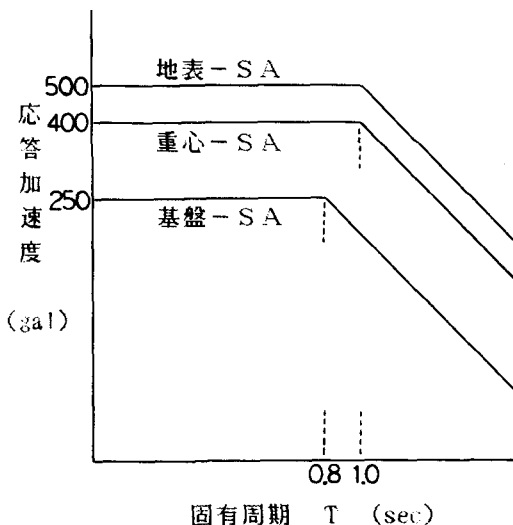


図-2 設計加速度応答スペクトル曲線

4. 上部工応答反力

吊橋上部工のように極めて複雑な系を持つ構造物の振動解析では、修正震度法や、モーダルアナリシスでは正確にその挙動を表現し得ない恐れがある⁶⁾。そこで本橋では、上部工応答反力を求めるために吊橋全体系モデルの時刻歴応答解析を実施している。このとき、下部工モデルとしては本四公団で採用している、並進及び回転の剛体2自由度モデルである⁷⁾。但し、このときの地盤の側方バネは、地盤構成に応じ、数個つけている。また、入力地盤の増幅を考慮し、重心位置における地震動とした。すなわち、基盤～重心間の応答倍率を求め、これにより基盤-S Aから重心-S Aを求めた。入力時刻歴波形は、この重心-S Aと同じS A特性を持つように、1968年十勝沖地震の波を位相を変えずに、周波数領域に於いて調整したもの(重心-S A適合波)を用いている⁵⁾。

5. 地盤応答変位

本橋の下部工は地中深く根入れされている。そこで地盤をバネーマスに変換し、地盤～構造物系の動的解析を試みて、動的相互作用の程度を調べた結果、本橋の振動モードはほとんど地盤の1次モードと一致していることがわかった。すなわち、全体の振動モードの中で構造物固有の振動がほとんど現われていないということである。従ってこのような構造物に、構造物の固有周期による応答を考慮した修正震度法による設計は意味を持たない。そこで設計地盤面より下部については地盤変位をバネを介して作用させることとした。このときの変位は地盤のみを別に1次元の応答解析を行なって解いたものを用いる。入力時刻歴波形は、基盤-S A適合波である。

6. 震 度

設計地盤面より上の部分については従来どおり、応答を考慮した修正震度を掛けるものとする。このときの減衰定数は、道示V、4.4.1.(2)の解説に従い、 $h=0.2$ とした¹⁾。修正震度曲線は、地表面-S A ($h=0.05$) に対し、次式による補正係数 $\gamma_t(h)$ を掛け⁵⁾これを震度に変換して求めた。

$$\gamma_t(h) = 1.5 / 40h + 1 + 0.5 \cdots \cdots \textcircled{2}, \quad h; \text{減衰定数}$$

ここでは、 $Kh=0.3$ を採用している。

7. まとめ

白鳥大橋下部工の耐震設計についてまとめると次のようである。

1. 入力地震動 : 室蘭での再現期間 100年に相当する、基盤最大加速度120galとする。
2. 設計外力 : 上部工反力、地盤変位、震度を作用させる。
3. 上部工反力 : 下部工を剛体2自由度モデルとした全体系時刻歴解析より定める。
4. 地盤変位 : 1次元地盤応答解析より定める。
5. 震 度 : 地表面-S Aより $h=0.2$ に相当する修正震度曲線を定め、0.3 とする。

8. あとがき

本文で示した白鳥大橋耐震設計法については、昭和59年度末に開催が予定されている、白鳥大橋下部工に関する技術調査委員会（委員長：多田浩彦 建設省土木研究所構造橋梁部長）において、さらに検討を深め、御審議していただく予定である。

また、本文では表層砂質地盤の液状化について触れなかったが、これについては参考文献の8)に詳しく述べてある。

最後に、日頃何かと御指導いただいている、土木研究所、本四公団設計第3課、大学等の関係各位に心から感謝致します。

参考文献

- 1). 財団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編
- 2). 大橋、千葉、池田：白鳥大橋架橋予定地点の地盤特性(2) 土質工学会北海道支部技術報告集第24号
- 3). 土田、野田、倉田ら：港湾技研資料(関係号) 運輸省港湾技術研究所
- 4). 日本建築学会：地震動と地盤 ―地盤震動シンポジウム10年の歩み―
- 5). 荒川、川島：動的入力地震動の設定法 土研資料第2120号 建設省土木研究所
- 6). 長谷川、荒川、川島：東京湾横断道路の動的応答解析例 基礎工 1982-12号
- 7). 本州四国連絡橋公団：耐震設計基準・同解説
- 8). 大橋、池田、大沼：白鳥大橋架橋予定地点の地盤特性(4) ―各種手法による液状化の総合判定― 土質工学会北海道支部 技術報告集第25号