

十勝大橋（PC斜張橋）および 士狩大橋（PCエクストラードズド橋）の 平成15年（2003年）十勝沖地震における応答特性について

谷口 浩二¹・蟹江 俊仁²・戸松 義博³・石川 博之⁴

¹正会員 工修 株式会社ドーコン（〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目）

²正会員 工博 北海道大学大学院 助教授（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）

³正会員 北海道開発局帯広開発建設部（〒080-8585 帯広市西4条南8丁目）

⁴正会員（独）北海道開発土木研究所（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34）

1. はじめに

大規模地震の発生する頻度が高い北海道では、釧路沖地震（1993年）、北海道南西沖地震（1993年）、そして北海道東方沖地震（1994年）の経験を踏まえて地震観測網の整備を急速に推し進めてきた。その結果、平成15年（2003年）十勝沖地震（以後、H15十勝沖地震とする）では、多くの観測点において地盤強震記録および構造物の強震記録が得られている。

本論文では、H15十勝沖地震において強震記録が得られた長大橋梁のうち、十勝大橋（PC斜張橋）と士狩大橋（PCエクストラードズド橋）について、耐震性能の要点となる応答特性を強震記録と地震時応答解析の両面から検証する。

2. 橋梁諸元と被災状況

(1) 十勝大橋

十勝大橋は一般国道241号帯広市と音更町を結ぶ橋長501mの長大橋梁で、平成8年1月に竣工した。主桁支持形式は橋軸方向の支承条件をすべて可動としている。H15十勝沖地震では損傷が認められていないが、橋台胸壁部において桁端部との接触痕があり、設計遊間程度の桁移動が生じた可能性が高い。

(2) 士狩大橋

士狩大橋は帯広・広尾自動車道が十勝川を渡河する位置に設置された橋長610mの大偏心外ケーブル方式（エクストラードズド方式）5径間連続PC箱

桁橋であり、平成12年2月に竣工した。耐震性の向上のため、水平力分散ゴム支承を採用している。H15十勝沖地震では、桁と橋台が接触したことにより、張出床版下部や壁高欄のコンクリート剥落、伸縮継手の破損、変位制限および落橋防止構造として用いられている鋼角ストッパーの被覆ゴムの脱落が発生した。

表-1 橋梁諸元（十勝大橋）

橋 長	501m	
上部工	形式	3径間連続PC斜張橋
	主塔	RC独立1本柱
	斜材	1面吊セミハープ型
下部工	橋台	RC逆T式橋台
	橋脚	RC小判型壁式橋脚
基礎工	RC場所打ち杭（A1, A2橋台）	
	ニューマチックケーソン式直接基礎（P1, P2橋脚）	
地盤種別	Ⅱ種地盤	
耐震設計	L1過程	震度法、動的解析
	L2過程	1G相当の適合波による照査

表-2 橋梁諸元（士狩大橋）

橋 長	610m	
上部工	大偏心外ケーブル方式 5径間連続PC箱桁	
下部工	橋台	RC箱式橋台
	橋脚	RC小判型壁式橋脚
基礎工	RC場所打ち杭（橋台, P1, P4橋脚）	
	ニューマチックケーソン式直接基礎（P2, P3橋脚）	
地盤種別	Ⅱ種地盤	
耐震設計	H2道路橋示方書 1G相当の応答スペクトル法で照査	

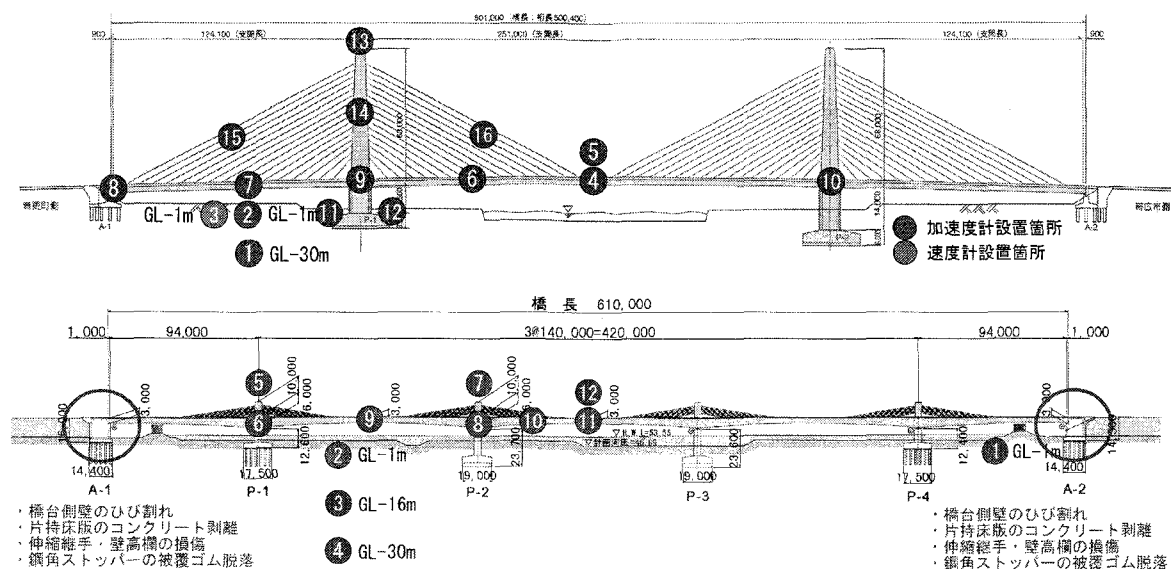


図-1 橋梁一般図と強震計設置状況（上：十勝大橋，下：土狩大橋）

3. 十勝大橋における応答特性

(1) 地震波の伝達特性

観測点間の伝達関数により、実際に応答している周波数帯を検証した結果を図-2 に示す。基盤で発生する地震動に対して、構造物は自らの固有周期に近い周波数帯の波形を優先的に取り込む性質があると考えられる。従って、解析上の入力波形を設定する場合や観測加速度波形を2回積分して変位を求め

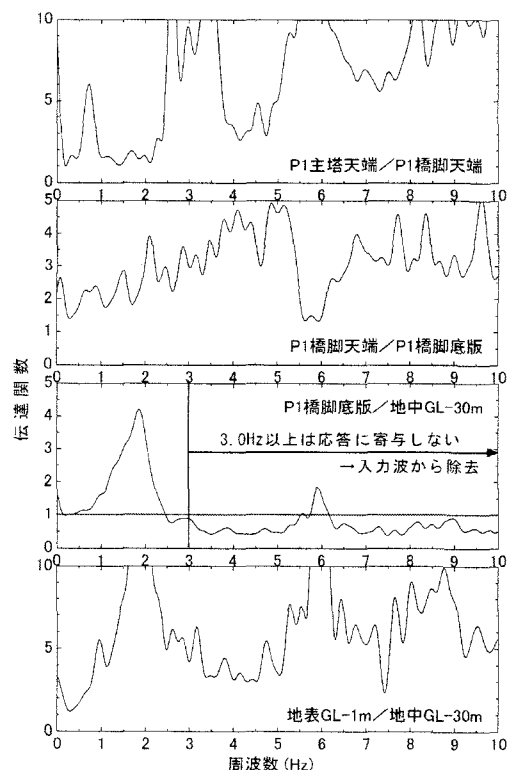


図-2 地盤～P1主塔の伝達特性

る際には、この周波数帯を把握しておくことが重要である。十勝大橋では橋脚底版において入力波形がフィルタリングされているものと考えられ、その周波数帯はおよそ0.6～3.0Hz程度であった。

また、解析上の入力波形を表-3 の様に変化させて時刻暦応答解析を行い、その応答加速度波形の観測波形に対する相互相関係数を比較した結果を図-3 に示す。一般的な動的解析に使用される地盤上波形 (Case1) に対して、底版上波形 (Case2) ではどの箇所においても相関性が高く、応答解析において底版上の強震記録を用いることは非常に有意義であると考

表-3 入力地震波による応答結果の比較

	構造モデル	入力波形
case1	設計値を使用	地表 (GL-1m) 波形を入力
case2		底版上波形を入力
case3		バンドパス処理した底版上波形を入力

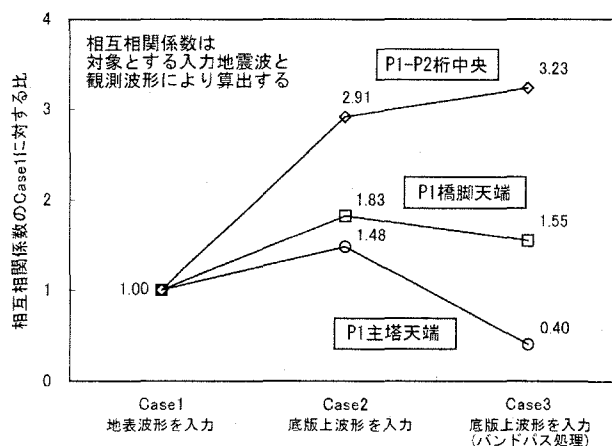


図-3 入力地震波による相互相関係数の比較

えることができる。しかし、底版上波形から応答に寄与しないものと考えられる周波数帯を取り除いたCase3 では観測箇所によって相関性が大きく下がる傾向が見られた。これは、取り除いた周波数帯によって起振される橋脚や斜材の振動による影響が大きいものと考えられるため、より精度の良い結果を得るためには、これらの相互作用を十分把握しておく必要性がある。

(2) 観測波形による応答モード

構造物の実際の振動を推定する場合、固有値解析結果における卓越振動モードの周波数より類推するのが一般的であるが、高次不静定構造である斜張橋形式ではプレストレスなどの不確定要素が強く影響して構造モデルへの完全な再現は困難である。また、振動実験等により振動モードを特定する場合においても上部工重量に対する起振力が小さいため、卓越モードを励起するような結果を得ることが出来ない場合が多い。そこで、実際の地震で観測された加速度記録より積分変位波形を算出し、主要動以後の定常状態における観測点ごとの最大応答を示す時間断

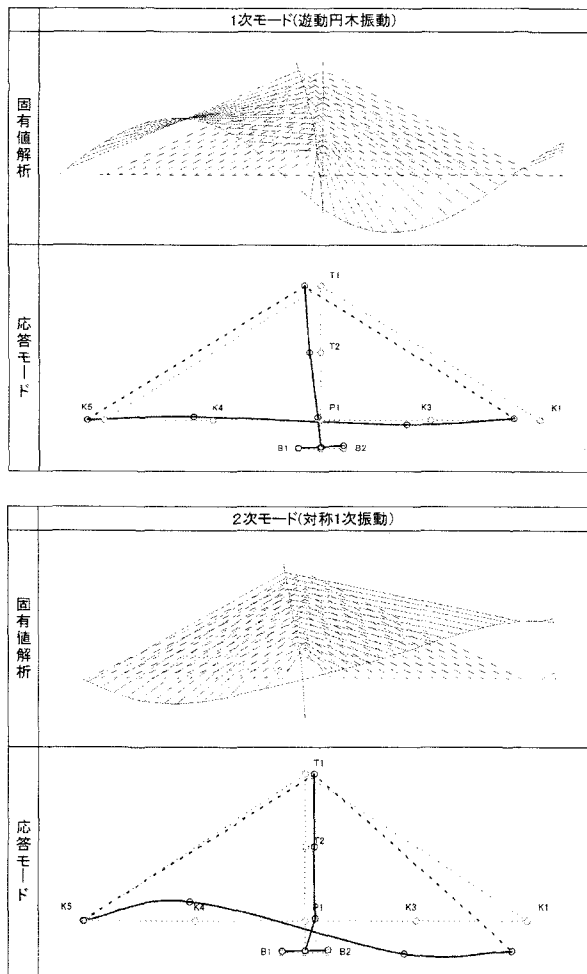


図-5 固有値解析結果と応答モード図

面で抜粋した応答モード図を図-5に示す

これによると、定常状態における十勝大橋の振動状況は、固有値解析結果と対応させると1次モード（遊動円木振動）と2次モード（桁対称1次）がほぼ交互に現れ、主塔先端の変位は比較的小さくなっていることが分かる。これは、斜材等による主塔変位の拘束力が大きく働いているためと考えられるが、詳細については今後の課題である。

4. 土狩大橋における応答特性

(1) 水平力分散ゴム支承の地震時特性

土狩大橋において採用している水平力分散ゴム支承は、大ひずみ域においても履歴減衰による影響が小さいため、静的載荷試験による荷重-変位関係から算出された等価剛性に対して設計上の等価剛性との照査を行うのが一般的である。しかし、今回の地震における強震記録から、設計上の支承パラメータを用いて時刻暦応答解析を行ったところ、支承剛性に起因する解析結果と観測値との相違があった。そこで、支承部に作用する慣性力と相対変位を観測加速度波形から算出し、実応答を考慮した荷重-変位図を求めた。結果を図-6に示す。

これによると、支承の実剛性は静的載荷試験における等価剛性に比べて 1.44 倍となり、履歴面積も拡大することから設計値 5%に対して 7%の等価減衰定数を得ることができた。

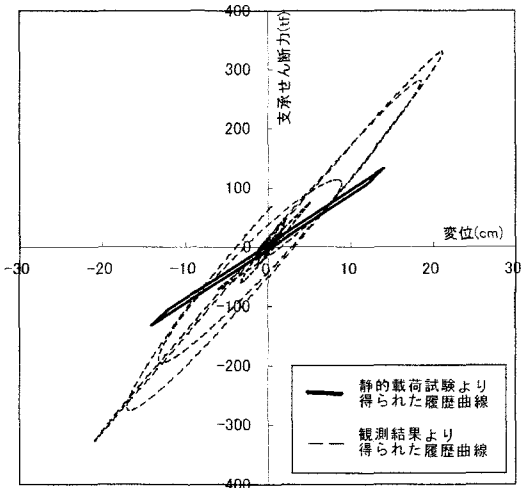


図-6 実応答を考慮した荷重-変位図

表-4 支承条件による比較

	構造モデル	支承剛性および減衰定数
case1	設計値を使用	静的載荷試験値より算出
case2		観測波形より求めた荷重-変位図より算定

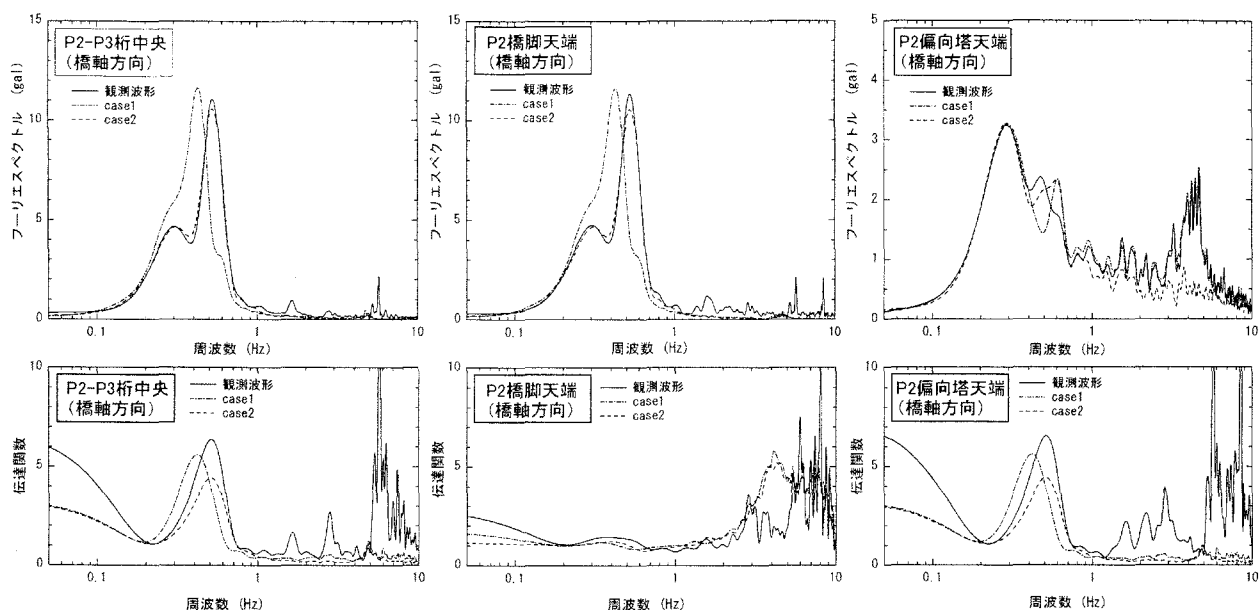


図-7 解析結果と観測値との比較

これらの結果を反映して表-4 のような条件の元で時刻歴応答解析を行い、観測記録との比較を行った結果を図-7 に示す。

結果として、case2 は観測結果に対する加速度および周波数特性の整合性が非常に高く、現象をより精度良く表現していると言える。すなわち、現行の設計法によって水平力分散ゴム支承を採用している橋梁では、地震時のように大変形かつ短周期で変形するような場合における見かけの等価剛性を過小に評価しており、変位に関して過度に安全側の設計となっている可能性がある。逆に、支承を介して下部工に伝達されるせん断力は、短周期化の影響により危険側となる場合があることを念頭に置いて設計を行う必要がある。

5. まとめ

長大橋梁に分類される十勝大橋（PC斜張橋）と土狩大橋（PCエクストラードスド橋）のH15十勝沖地震における観測結果に基づいて、動的特性に関する諸検討を行い、以下のような知見を得た。

- 十勝大橋における地震動の伝達特性より、地中から構造物に伝達される地震波は、構造物自身の固有振動数により制限を受ける。
- 耐震設計等を行うにあたって、底版上で得られた強震記録がある場合、より精度の良い解析を行うことが可能となり、非常に有意義である。
- 観測結果より求めた応答モードは、固有値解析結果と比較的良く対応しており、1次と2次モードが卓越して発現している。
- 実応答を考慮した動的な支承パラメータの推定

により、水平力分散ゴム支承の設計変位に関して過度に安全側となっている可能性がある。また、下部工に伝達されるせん断力は短周期化の影響により危険側となる場合もある。

参考文献

- 2003年(平成15年)十勝沖地震検討会 報告書
- 神山繁, 佐藤昌志, 新原雄二, 大保直人: 張出し施工中の長大PC斜張橋の地震時応答特性, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第1部(B), pp. 1004-1005, 1995.
- 神山繁, 佐藤昌志, 大保直人, 新原雄二: 十勝大橋(PC斜張橋)の1994年北海道東方沖地震での応答特性, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第1部(B), pp. 1006-1007, 1995.
- 佐藤昌志, 南雲広幸, 大保直人, 井上雅弘: 十勝大橋(PC斜張橋)振動実験, 第5回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.53-58, 1995.
- 新原雄二, 池田憲二, 日紫喜剛啓, 河野哲也, 山野辺慎一: 十勝大橋地震観測に基づくPC斜張橋動的解析における減衰定数の設定法に関する考察, 構造工学論文集 Vol.47A, pp. 615-626, 2001.
- 池田憲二, 佐々木秀男, 一宮利通, 新原雄二: 土狩大橋の振動実験と地震観測に基づく応答解析, 第10回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.697-702, 2000.
- 池田憲二, 佐々木秀男, 新原雄二, 一宮利通, 河野哲也: 振動実験および地震観測記録を用いた動的解析による土狩大橋の耐震性検討, 構造工学論文集 Vol. 47A, 2001.