

伊勢湾岸自動車道木曽川橋における 地震時挙動観測とその活用

忽那幸治¹・鹿野善則²・芦塚憲一郎³
大保直人⁴・山野辺慎一⁵・河野哲也⁶

¹日本道路公団中部支社課長代理 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-18-19)

E-mail:yukihiro.kutuna@jhnet.go.jp

²日本道路公団試験研究所主任 (〒194-0000 東京都町田市忠生1-4-1)

E-mail:yoshinori.kano@jhnet.go.jp

³日本道路公団技術部 (〒100-8979 東京都千代田区霞ヶ関3-3-2)

E-mail:kenichirou.ashiduka@jhnet.go.jp

⁴鹿島建設技術研究所上席研究員 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

E-mail:ohbo@kajima.com

⁵鹿島建設技術研究所上席研究員 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

E-mail:yamanobe@kajima.com

⁶鹿島建設技術研究所 研究員 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

E-mail:tetsuya-kono@kajima.com

2001年7月から供用された伊勢湾岸自動車道木曽川橋は、5径間のPC・鋼複合連続エクストラード橋の新しい構造形式で、免震構造となっており、耐震安全性を評価するためにレベル2地震動を評価し、詳細検討が実施された。本橋のような構造形式は歴史が浅いため、地震の経験が少なく地震時挙動が十分に解明されていないことから本橋の耐震評価で検討した項目を確認することを目的として地震観測を実施した。本文では、地震観測の概要を紹介するとともに、これまでに観測された記録を紹介した。また、本橋は重要構造物であり、地震時の保守・運用が別途作成されているが、地震観測システムを大地震時の保守・運用に利用できるように整備したIT地震観測システムについて紹介した。

Key Words : Earthquake Observation, Continuous Composite Extradosed Bridge, Dynamic behavior

1. はじめに

第二名神高速道路、伊勢湾岸自動車道の木曽川橋および揖斐川橋は、5径間および6径間のPC・鋼複合連続エクストラード橋であり、従来に例を見ない新しい構造形式である。本橋は、特殊な形状を有する新たな構造形式であること、重要構造物であること、軟弱地盤上に建設されることなどから、耐震安全性の検討を合理的に行う必要があった。そのため、当該橋梁が建設される地点近傍に存在する活断層および歴史地震を特定し、各種地震動評価手法を用いてレベル2地震動を策定し、この地震動を用いて本橋の耐震安全性について、種々の問題点が整理され、耐震性が評価された^{1)~3)}。

地震によるゆれの強さは、震源特性や地形・地盤のサイト特性の影響等で、場所により異なるため、兵庫県南部地震以降、土木構造物の設計において建設地域付近に存在する活断層を特定できる場合には、地震動(いわゆる「レベル2地震動」)を予測し、精度と信頼性のより高い地震によるゆれを想定して設計する必要性が提言された⁴⁾。

そこで、本橋の耐震設計では、現行の設計基準に基づいて設計した上で、さらに、当該橋梁近傍に存在する活断層を特定し、その特性や過去の地震の大きさから最も危険な地震の発生を想定し、地形、地質、地盤条件、構造特性を考慮の上、橋のゆれを求め、それに耐えうるように設計された。ここで考慮した地震動は、建設地点において過去および将来を通じて想定される最大級の地震動で

あり、検討では、基礎構造や地盤の特性、周辺地盤との動的相互作用や液状化の影響等が考慮された。このような詳細検討を受けて、地震動評価で必要となった要素地震の必要性、軟弱地盤での応答特性の評価および免震構造の本橋の応答性状を評価することを目的として地震計を設置し、観測を実施した。

本文では、木曽川橋における地震観測の概要、これまでに観測された記録を紹介するとともに本観測記録を大地震時における本橋の点検などの管理に活用するために構築したIT地震観測システムについて紹介する。

2. 地震観測の概要

(1) 目的

本橋は地震に対しても優れた構造形式になっているが、その歴史が浅く地震経験が少ないことから、地震時挙動や被害形態が十分に把握されていない。地震観測は、木曽川橋（図-1(a)参照）のP4橋脚を対象として全橋の地震時挙動を解明するために、地震計を設置した。

本橋の地震観測の目的は、以下である。

- ① 耐震設計の妥当性の確認
- ② 耐震安全性の推定・把握

(2) 地震計の配置、システム

観測は、設計用地震動との比較および地盤応答性状を確認するために、基盤、基礎下端、および

表-1 地震計の設置位置(8ヶ所 19成分)

記号	設置位置	測定方向	記号	設置位置	測定方向
K1 -Y	主桁 P3~P4	橋軸直角	G1-X	PA3 側	橋 軸
-Z	支間中央	鉛 直	-Y	地表 (GL-1m)	橋軸直角
K2 -X	主桁 P4	橋 軸	-Z		鉛 直
-Y	橋脚柱頭部	橋軸直角	G2-X	PA3 側	橋 軸
P4T-X	P4 主塔頂部	橋 軸	-Y	地中 (TP-55m)	橋軸直角
-Y		橋軸直角	-Z		鉛 直
P4P-X	P4 橋脚天端	橋 軸	G3-X	PA3 側	橋 軸
-Y		橋軸直角	-Y	基盤 (TP-110m)	橋軸直角
-Z		鉛 直	-Z		鉛 直
D1 -X	P4 免震支承 相対変位	橋 軸			

地表の3地点に加速度計を設置し、また本橋は免震構造となっており、橋脚と桁との動きを確認するための相対変位計、および橋梁本体の動きを調べるために、主桁、主塔に加速度計を設置し、合計19成分（表-1参照）の観測を実施している。詳細設置位置は図-1(b)を参照されたい。観測したデータをアナログからデジタルに変換するデジタル伝送器を使って、データ収録装置で記録を保存している。収録装置で蓄積された観測記録の回収や機器の設定・稼動状態の監視は、電話回線を介して桑名管理事務所で管理している。地震記録は、100 Hz サンプリング、遅延時間10秒とし、基盤加速度計の3方向のいずれかが1Galを上回る加速度を感知すると記録するシステムとなっている。

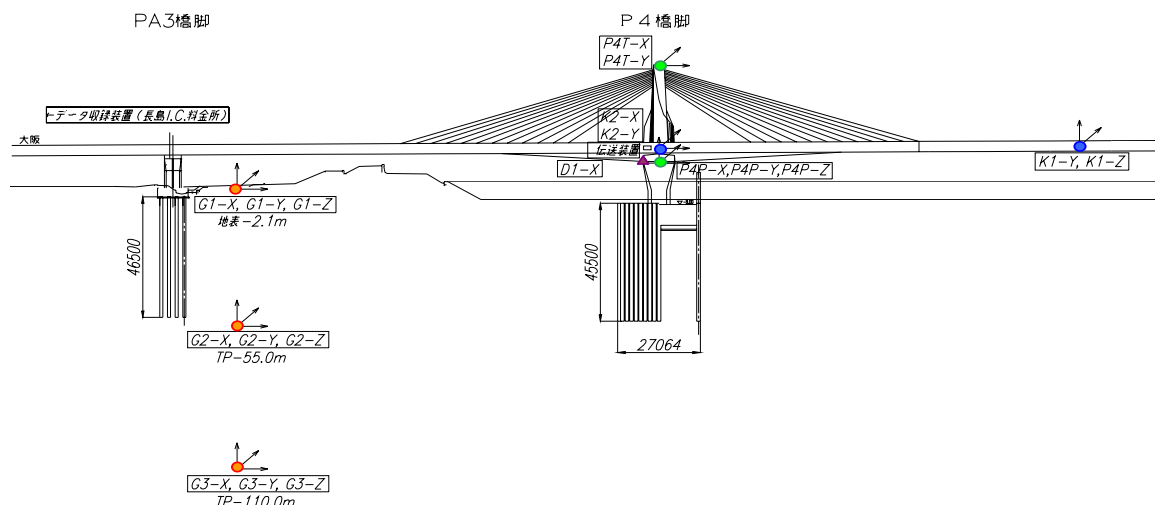
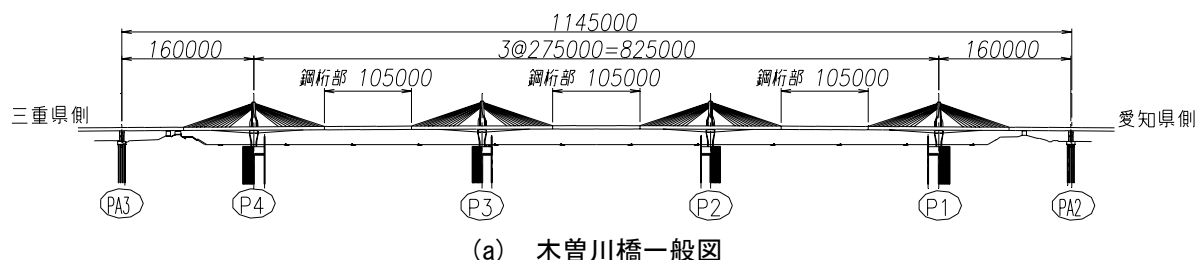


図-1 観測機器の設置位置概要

3. 観測記録

観測は2002年4月から開始し、2003年7月末で8個の地震が記録された。観測された地震一覧を表-2に示す。地表地盤で最大加速度値は、伊勢湾を震源とする地震で16Galが観測され、主桁最大加速度も伊勢湾を震源とした地震で約32Galであった。主塔での最大加速度は、東海道沖を震源とした地震で22Galであった。

これら最大加速度を示した二つのKSG004とKSG008のP3～P4支間主桁中央部の橋軸直角方向と上下方向およびP4橋脚主塔頂部橋軸、橋軸直角方向の記録を図-2に示す。なお、図中に最大加速度は表示した。

東海道沖を震源とした地震：KSG004は、M=4.6と小さく震央距離が遠いためにS波以降の波形部分が記録された。一方伊勢湾を震源とした地震：KSG008は、P波でトリガーが掛かり全体の波形が記録された。この記録から主桁の最大加速度は近い地震では上下方向が大きく、主塔頂部では、橋軸直角方向が大きな加速度値を示している。主塔頂部ではこれまで観測された地震では、橋軸直角方向が大きな加速度を示している。

表-2 観測された地震一覧

Event No.	地震発生地点	地震記録日時	地盤 (Gal)	桁 (Gal)	主塔 (Gal)
KSG001	三重県中部	02 4 28 10 34	6.9	5.4	14.9
KSG002	岐阜県美濃中西部	02 7 6 6 58	2.6	4.6	8.5
KSG003	宮城県沖	02 11 3 12 41	0.6	3.2	4.0
KSG004	東海道沖	03 1 19 4 51	1.6	4.3	22.2
KSG005	愛知県西部	03 2 7 13 6	4.9	4.8	5.1
KSG006	長野県西部	03 5 18 3 24	2.8	4.5	14.6
KSG007	宮城県沖	03 5 26 18 27	2.3	12.5	19.2
KSG008	伊勢湾	03 7 9 2 14	16.0	31.9	12.4

橋梁の振動特性を調べるため、二つの記録の主桁中央橋軸および上下方向、主塔頂部の橋軸、橋軸直角方向のスペクトルの重ね書きを図-3に示す。KSG004地震記録には、各位置で明瞭な卓越振動数が見られ、主桁軸直角方向(K1Y)は0.93Hz、主桁上下方向(K1Z)は0.54Hz、主塔軸方向(P4TX)は0.66Hz、主桁橋軸直角方向(P4TY)は1.26Hzである。これらの卓越振動数と耐震設計モデルでの固有値との比較は、今後モード等を比較して特定する予定である。

4. 地震観測システムの活用

本地震観測システムの運用の一つに計測震度、

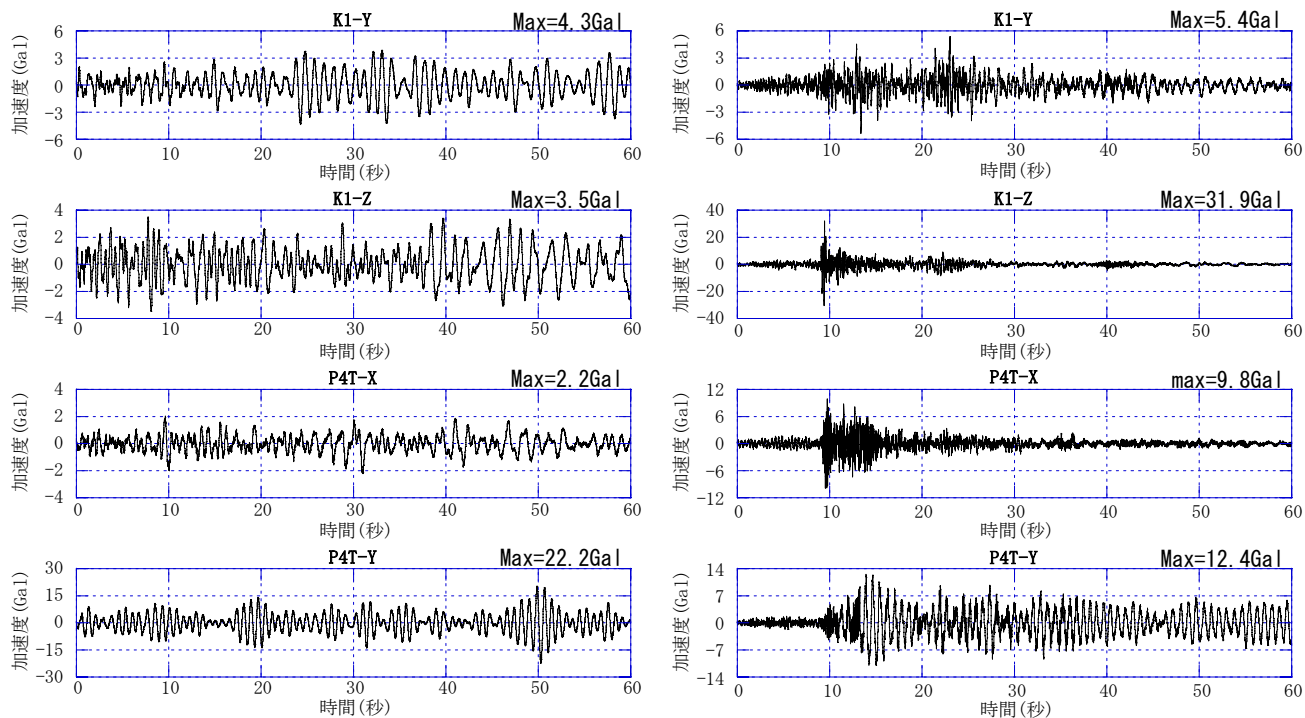


図-2 Event No. KSG004, KSG008 の主桁中央、主塔頂部の加速度波形

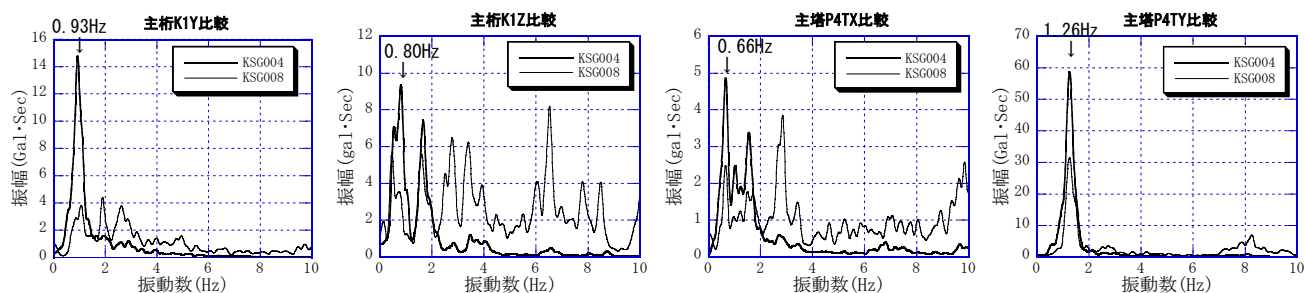


図-3 フーリエスペクトルの比較

最大加速度等の強震情報と気象庁の地震速報など合わせて判断し、関係各所への緊急連絡や道路表示装置を作動させる等の措置を取り、二次被害を最小化するための利用、また、設計検討での予測値を超えるような値が観測された場合には、点検対象部位毎の点検項目が文書化され、大規模地震後の運用マニュアルが用意されている。

この運用マニュアルは、文書として用意されているため、時間が経つと管理者が転勤したり、文書が逸散したりし、突然起きる大地震時に活用される可能性は低いと考えられる。そこで、運用マニュアルに記載されている、大地震時の橋梁の点検項目を含め、地震観測で得られた情報を用いて、簡単に利用出来る地震時保守・点検が可能となるIT地震観測システムを構築した。本システムの主な機能は、以下のとおりである。

- ① 地震通報を受け、自動収集された地震記録を用いる。
- ② 記録が収集されると、パソコンの画面に地震発生が表示され、マウスをクリックすると、画面に橋梁に設置された地震計位置に最大値が表示される(図-4(a)参照)。
- ③ 最大値表示画面には、観測された記録を分析し、点検、波形、応答スペクトル、周波数分析および伝達関数の処理項目が表示され、各項目をマウスをクリックするとその項目に関する画面が表示される。
- ④ 図-4(b)は、点検表示画面を示す。この表示画面には、枠で囲まれた6個の数字が表示されている。番号は、被害が発生した可能性のある部位を示したものである。
- ⑤ 図-4(c)は、番号3をクリックし、点検内容と、点検部位の写真を表示した画面を示す。
- ⑥ 本システムは、画面表示以外に、地震記録の地表記録を用いて計測震度、波形、および工学値データをメールで配信出来る機能を持っている。また、管理者の携帯電話に、橋梁地点の最大加速度と震度情報を配信する機能も備えている。

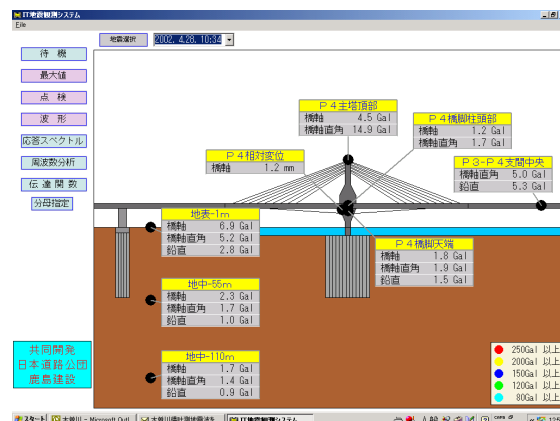
5. まとめ

本文では、木曾川橋で実施している地震観測の概要、これまでに観測された記録の紹介をした。さらに本地震観測システムを本橋の保守点検運用に役立てるIT地震観測システムの概要を紹介した。

今後、地震観測を引き続き継続し、地震観測で得られた記録の整理および有用なデータが得られたら詳細な分析を進める予定である。また、保守点検運用を目的としたIT地震観測システムは、現在は観測記録を収集してからシステムが稼動するため、大地震時に電話・電気が確保できない状態でも稼動するようにシステムの高度化が課題である。

参考文献

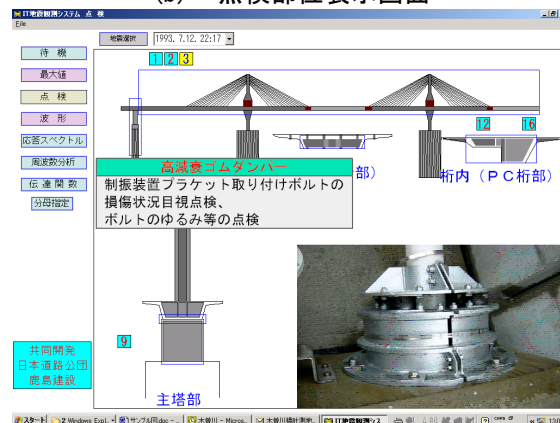
- 1) 小松秀樹, 酒井秀昭, 水口和之, 池浦友則, 大保直



(a) 最大値表示画面



(b) 点検部位表示画面



(c) 点検部位写真と点検項目表示画面

図-4 システムのサンプル画面

人：木曾三川橋の耐震設計におけるレベル2地震動の算出、第2回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、pp. 291-298, 1968.

- 2) 小松秀樹, 本荘清司, 岡本裕昭, 右近八郎, 山野辺慎一：木曾川橋の耐震設計について、第2回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、pp. 411-418, 1968.
- 3) 小松秀樹, 酒井秀昭, 水口和之, 丹羽正徳, 池浦友則, 大保直人：断層を考慮した木曾川橋の耐震設計におけるレベル2地震動の評価：構造工学論文集, Vol.46A, pp. -, 2000.
- 4) 土木学会：土木学会耐震基準等に関する提言集, 1996 (2003. 9. 6 受付)