

2001年3月24日芸予地震被害調査報告 - 補足 西瀬戸自動車道の状況

(社)土木学会芸予地震被害調査団

はじめに

土木学会芸予地震被害調査団では、先に調査報告 (<http://www.jsce.or.jp/report/index.html>) を公表している。本補足は、西瀬戸自動車道の状況について、その後の調査に基づき補足したものである。

西瀬戸自動車道(しまなみ海道)は平成11年(1999年)5月1日に新尾道大橋、多々羅大橋、来島海峡大橋が開通したことによりルートが概成した(図-1)。このルートには、尾道側から新尾道大橋、因島大橋、生口橋、多々羅大橋、大三島橋、伯方・大島大橋、来島海峡大橋(3連吊橋)の9つの長大橋がある¹⁾。

芸予地震発生(15:28頃)直後、西瀬戸自動車道の向島(223gal)、生口島(218gal)、今治(462gal)におかれた交通管理用地震計の観測値により、全線通行止めとし、震災点検が行われた。この結果、通行に支障がないとの判断により、17:05には全線通行止めを解除(50km規制)、20:45には速度規制(50km規制)を解除した。被害としては、来島海峡第一大橋のセンターステイケーブルのロッドの破断など、通行には支障ないいくつかの被害が発見された。また、長大橋の基礎地盤等に設置した強震計からいくつかの強震記録が得られた。本報告(補足)は、これらの状況について概略をまとめたものである。なお、震央からの距離は来島海峡大橋で約30km、多々羅大橋で約40km程度である。

来島海峡大橋

来島海峡大橋は橋長約4km、世界最初の3連吊橋で昭和63年5月に着工された。全体一般図を図-2に示す。四国の対岸に位置する大島側から第一大橋、

第二大橋、第三大橋と名づけられている。来島海峡大橋の設計にあたっては明石海峡大橋の経験を踏まえ綿密な耐震設計が行われた。吊橋下部構造については「来島大橋剛体基礎耐震算法(案)」(本州四国連絡橋公団、1990年)により耐震設計を行っている。上部構造の耐震設計は、モデル化、減衰定数、長周期加速度応答スペクトルについては「明石海峡大橋上部構造耐震設計要領(案)」(本州四国連絡橋



図-1 西瀬戸自動車道(しまなみ海道)¹⁾

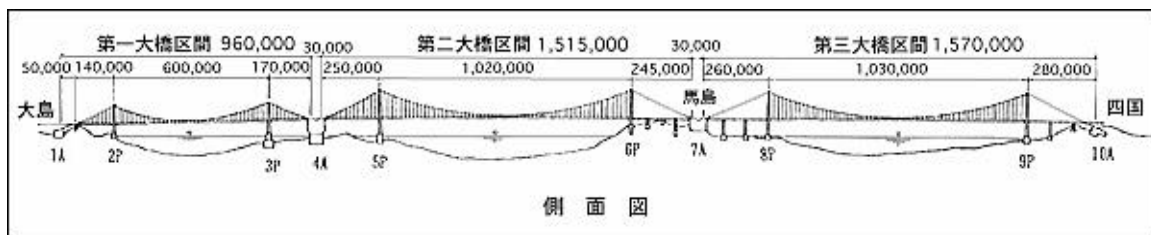


図-2 来島海峡大橋全体一般図¹⁾

公団、1989)によっているが、全体系の解析における基礎と地盤の動的相互作用(動的ばねなど)、入力地震動(加速度応答スペクトル)については上記「来島大橋剛体基礎耐震計算法(案)」によっている。本橋の耐震設計上の大きな特徴としては基礎と地盤の動的相互作用を評価し、さらに健固な岩盤上に設置されることから地震時の基礎と地盤の間の引っ張り力を無視したことにある。今回の地震では、ほぼ設計時に想定した地震力を受けたものと考えられる(後出、図-7)。

3連の来島海峡大橋のうち、来島海峡第一大橋(写真-1)では、メインケーブルと桁をつなぐセンターステイのロッドが4本とも破断した。写真-2~4にこの状況を示す。センターステイは橋の中央部において主ケーブルと桁を繋ぎ止め、強風による桁のゆれを抑制する装置であり、大きな地震力を受けた場合、主ケーブルおよび桁に被害が発生しないようロッド部で破断する設計になっており、設計通り破断したものである。(図-3参照)写真でもセンターステイが取り付けられていたケーブル、桁に被害が生じていないことがわかる。



写真-1 来島海峡第一大橋



写真-2 地震直後のセンターステイの状況(*)



写真-3 桁側のソケット



写真-4 メインケーブルの取付部

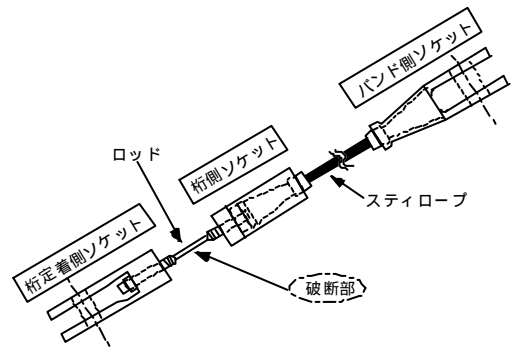
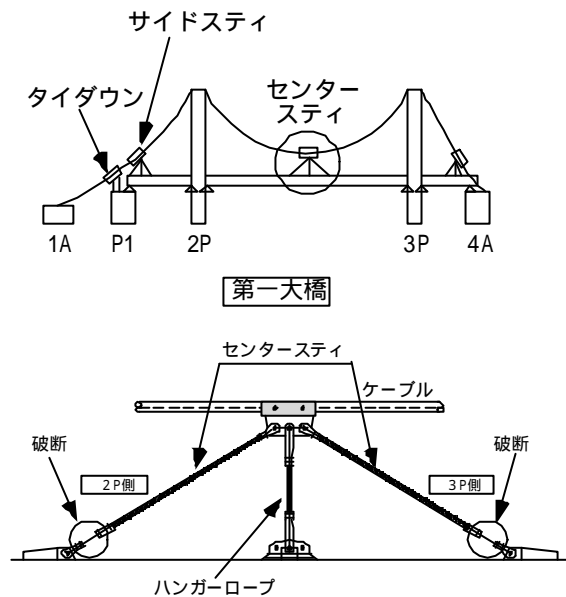


図-3 センターステイの構造(*)



写真-5 センターステイロッドの破断の状況

センターステイロッドの破断面を写真-5に示すが、引っ張りにより破断していることがわかる。

なお、破断した4本のセンターステイロッドは5月16日に復旧した。

来島海峡大橋の7A付近岩盤内では後述するように強震記録が得られており、水平で最大155galを記録していた。この加速度応答スペクトル(図-7)を見ると今回の地震で設計スペクトルとほぼ同程度の地震力を受けたものと考えられるが、センターステイのロッドは本橋の60%程度の地震力で切断するように設計されていた。

その他の被害

多々羅大橋の大三島側に直接取り付く多々羅西高架橋(3径間連続鋼箱桁橋、図-4)では4P橋脚上、高さ約35.7mの移動制限装置の溶接部が破断した。写真-6、図-4にこの様子を示す。また橋脚側に設けられたコンクリートブロックのアンカー部の一部にクラックが生じた。破断した突起部については、4月上旬に現場溶接にて応急復旧済である。

愛媛県今治北インターチェンジ内の本線をまたぐ第一ランプ橋(2径間連続PC橋)では橋脚上の移動制限装置(コンクリートブロック)が損傷した。この状況を写真-7および図-5に示す。

大三島橋西高架橋(2径間連続鋼鈹桁橋)ではA1橋台にある8基の固定の鋼製支承が、各々4本のボルトで桁と固定されており、全ての支承でこの内の2本が破断、合計16本のボルトが破断した。破断は全て引っ張りによるものであり、この状況を写真-8、図-6に示す。なお、これらのボルトについては、地震発生後1週間以内に破断しなかったボルトも含め全数取替を完了している。

管理用設備では、しまなみ海道の吊橋と斜長橋の



写真-6 多々羅西高架橋移動制限装置の被害(*)

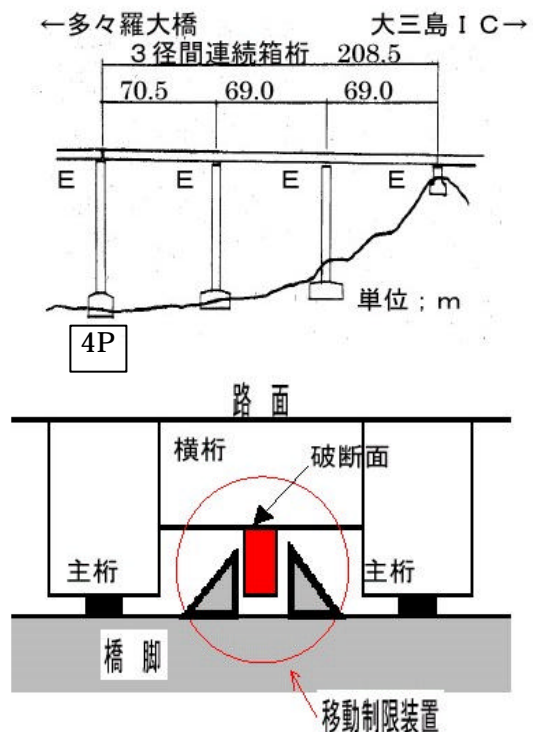


図-4 多々羅西高架橋と移動制限装置(*)

塔内に維持管理用のエレベーターが16基設置されており、この内の5基において巻き上げ機の取り付け位置の移動やガイドローラーの損傷等が生じた。

強震記録

西瀬戸自動車道では交通管理用の地震記録の他、長大橋を対象とした強震観測が行われている。このうち、橋全体の挙動がある程度わかるのは多々羅大橋、大三島橋であり、他は基礎岩盤内のみとなっている。



写真-7 今治北I Cランプ橋と被害状況(*)

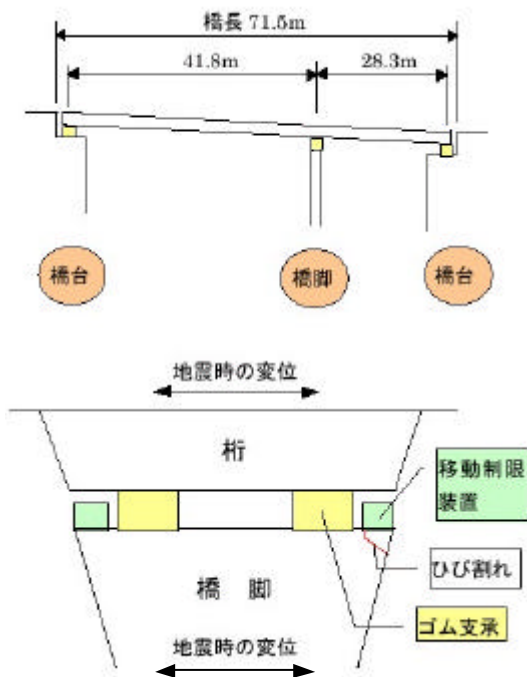


図-5 今治北I Cランプ橋と被害状況(*)

表-1に各橋の基礎岩盤における観測結果を、図-7に来島海峡大橋7A付近の加速度波形ならびに加速度応答スペクトルを示す。同図には先に述べた「来島大橋剛体基礎耐震計算法(案)」による設計用加速度応答スペクトルも重ねている。設計スペクトルはフリーフィールドのもので岩盤内の記録とは直接比較はできないが、今回の観測値はほぼ設計地震動と同じレベルであった。ちなみに、設計地震動は再現期間150年に相当する加速度応答スペクトルと高知沖のM8.5あるいは日向灘沖のM8の大規模地震のスペクトルを包含したものである。

多々羅大橋の各部の最大加速度を図-8示す。また、岩盤、2P基礎上、2P塔頂および桁における加速度波形等を図-9、10に示す。岩盤内の加速度応答スペクトルには設計スペクトルもあわせて示している(来島海峡大橋と同じもの)。2P基礎上の橋軸方向では1.7Hz(0.6秒)に特徴的なピークが見られる。2P塔頂の動きはやや複雑であるが橋軸、橋軸直角方向のフーリエスペクトルにはいくつかの明瞭なピークが見られる。

図-11に大三島橋の各部の最大加速度を示す。また、加速度波形、スペクトル等を図-12、13に示している。基礎上では岩盤と比べて明瞭な特徴がない(むしろ、基礎上ではスペクトルがぼやける)。一方、アーチ上部では応答は非常に明瞭である。特に、橋軸方向では基礎上が495galであるのに比べ、アーチ上部では299galと大幅に応答が落ちる。一方、橋軸直角方向では、808galと非常に大きな応答を示し、3.6Hz付近に明瞭なピークが見られる。

あとがき

本報告補足は、調査団の一員である磯山によって2001年5月末に作成された。本州四国連絡橋公団には写真、資料等の提供など全面的にご協力いただいた。

参考文献

1) 本州四国連絡橋公団ホームページ:

<http://www.hsba.go.jp/>

*印のついた写真、資料等は本州四国連絡橋公団から提供されたものであり、以下のホームページにも掲載されている。

<http://www.hsba.go.jp/osirase/jishin.htm>

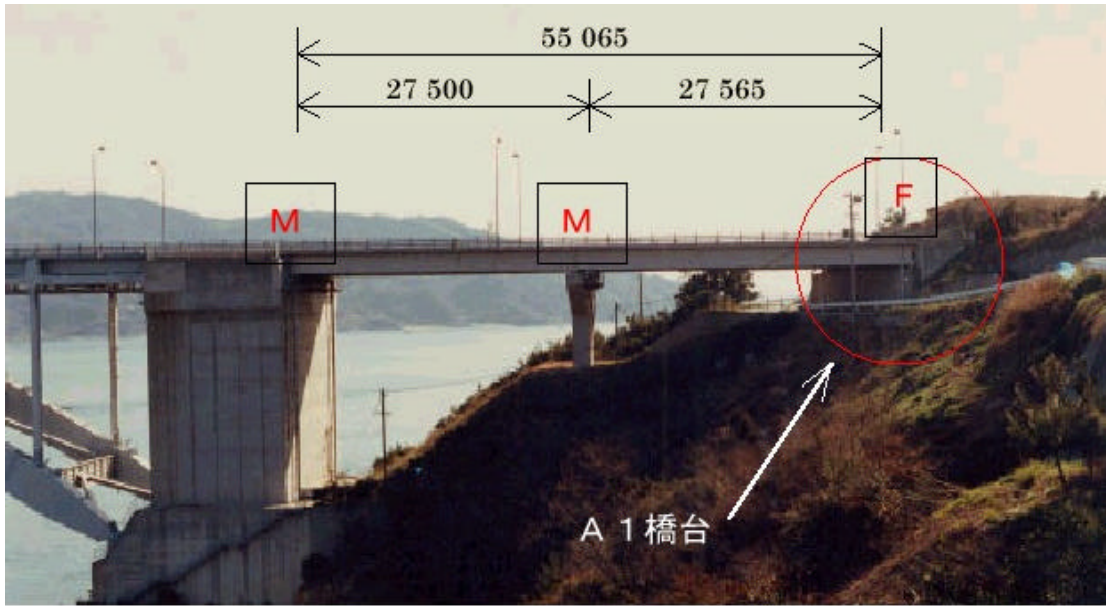


写真-8 大三島橋西高架橋(*)

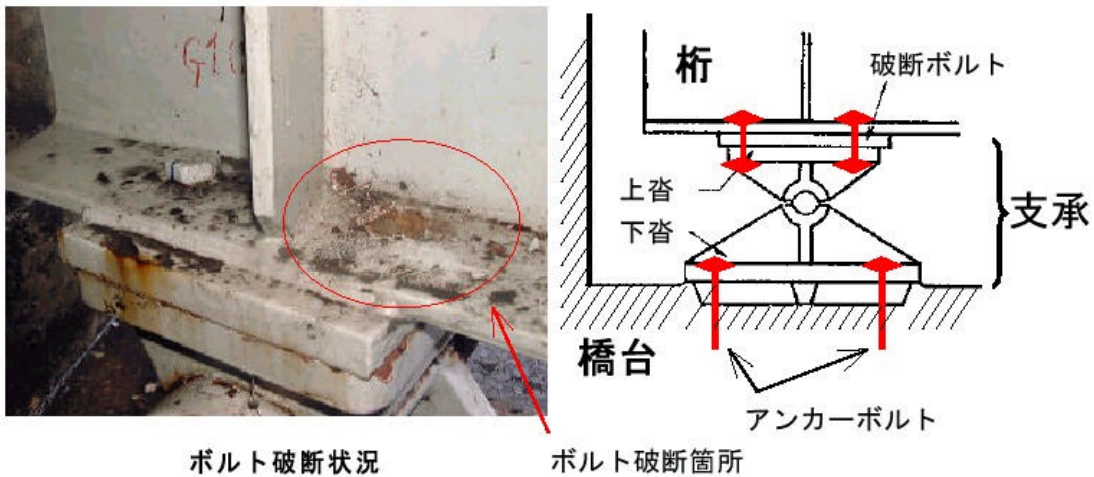


図-6 大三島西高架橋の被害状況(*)

表-1 西瀬戸自動車道における岩盤での強震観測結果

計測箇所	最大加速度 (gal)			備考
	L(*1)	T(*2)	V	
因島大橋 3P 付近	137.5	115.0	88.0	TP-5.05m (GL-10m) CL 級岩盤内
多々羅大橋 1A 付近	170.9	144.9	101.9	TP+14m (GL-20m) CL 級岩盤内
大三島橋 3A 付近	131.5	179.2	103.1	TP-1.6m (GL-19.4m) CL 級岩盤内
来島海峡大橋 7A 付近	105.7	154.7	116.5	TP+2.53m (GL-18.58m) CL 級岩盤内

*1: 多々羅大橋、来島海峡大橋についてはN-S方向、*2: 同E-W方向

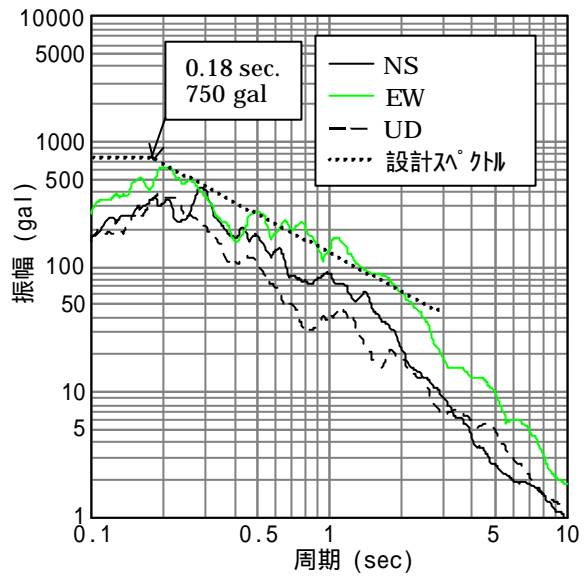
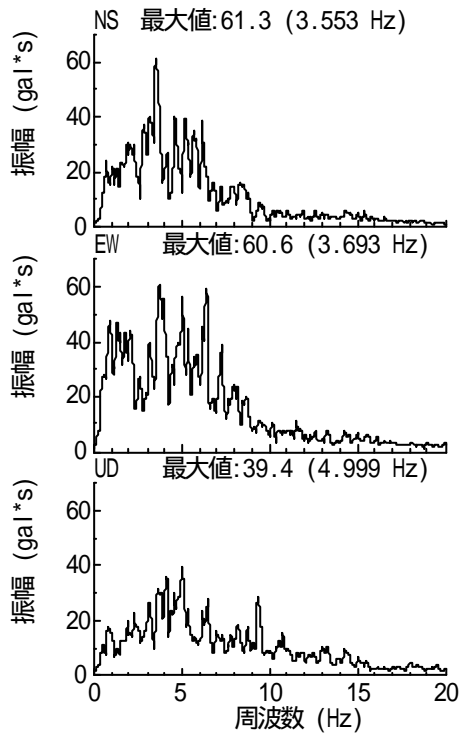
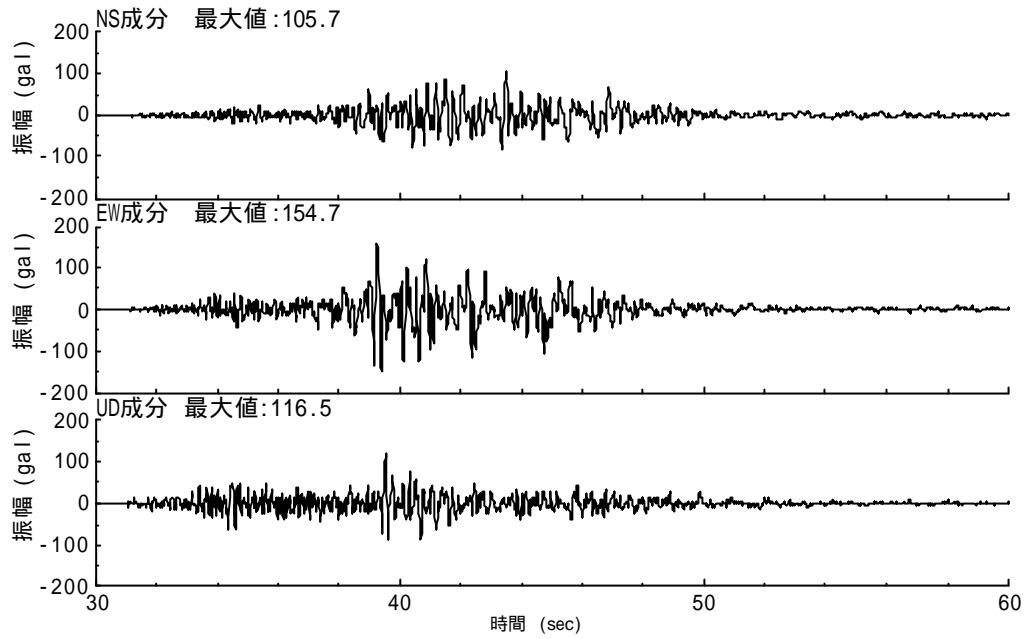


図-7 来島海峡大橋7A岩盤の加速度波形、フーリエスペクトル、加速度応答スペクトル

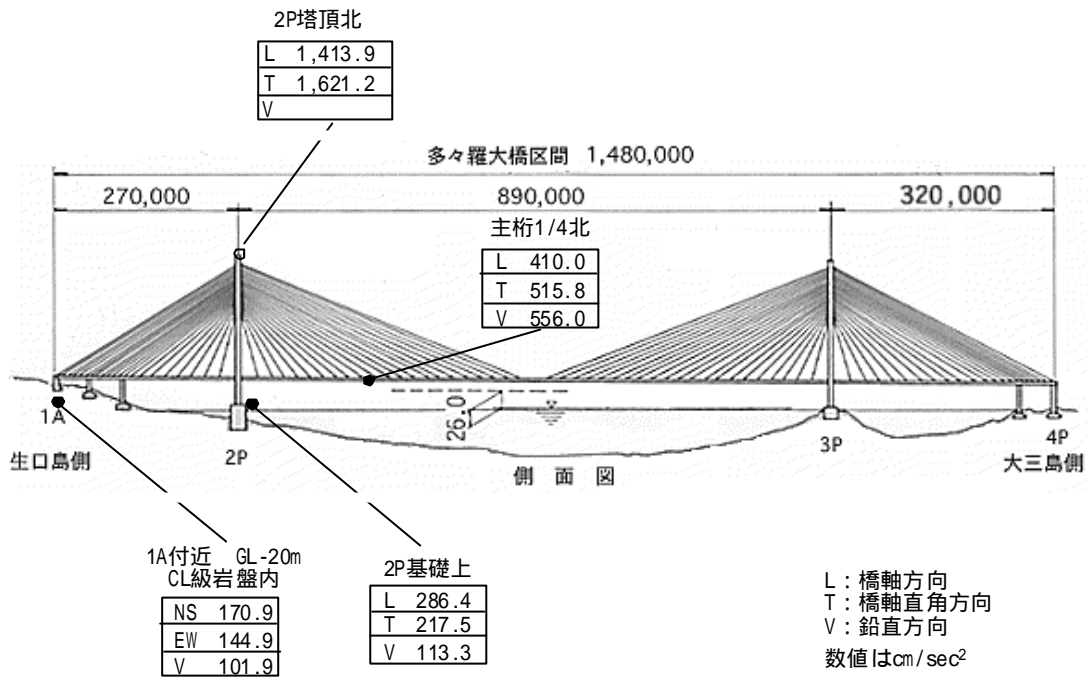


図-8 多々羅大橋各部の最大加速度

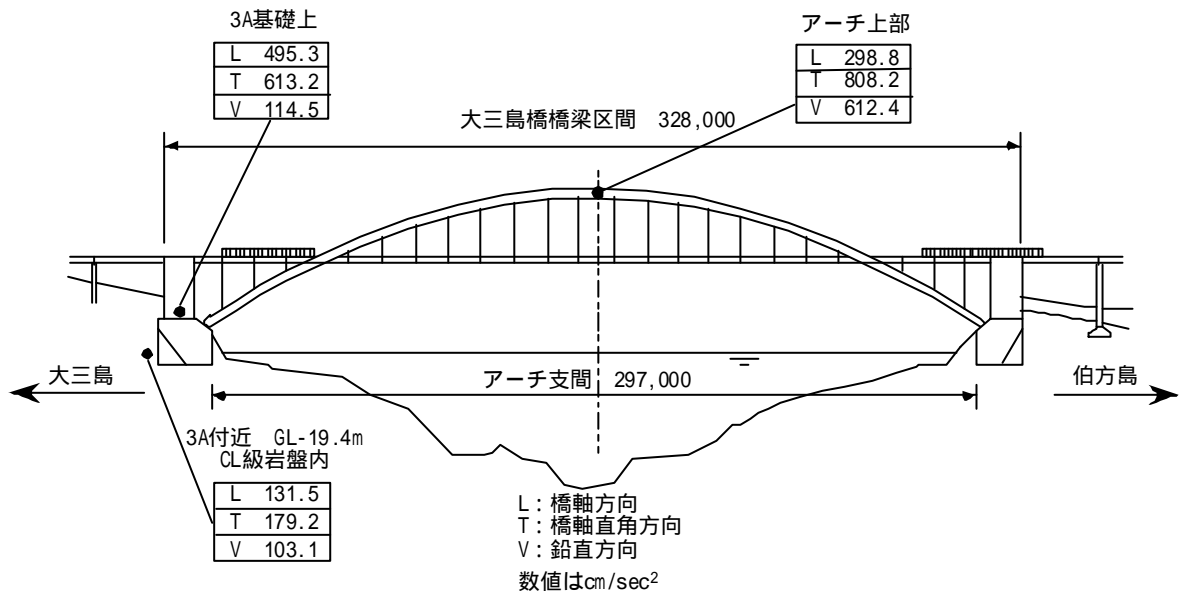


図-11 大三島橋各部の最大加速度

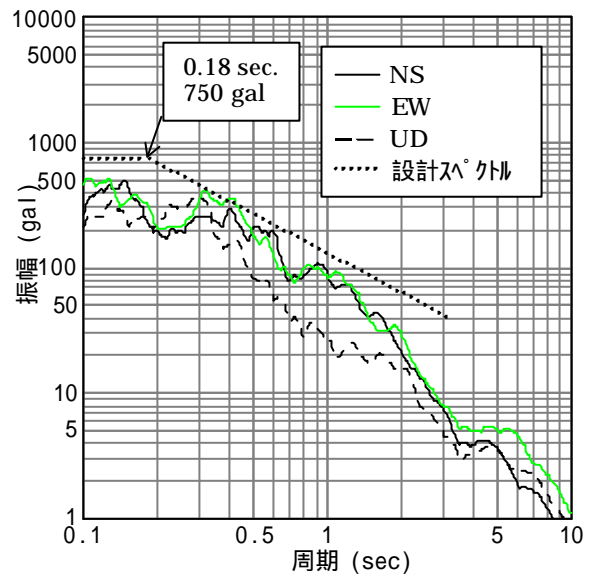
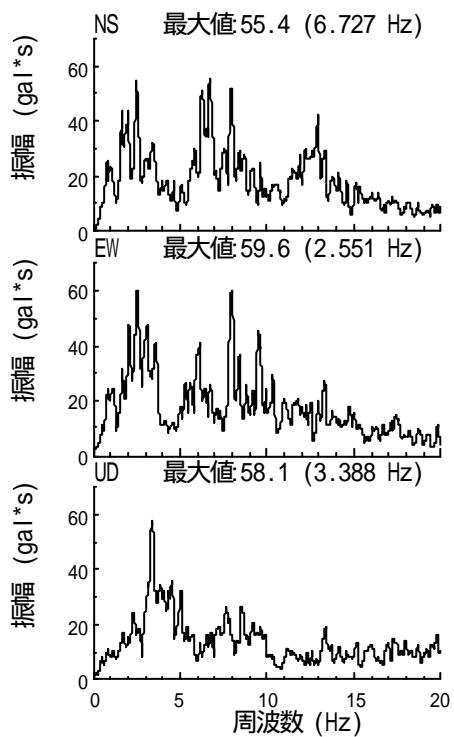
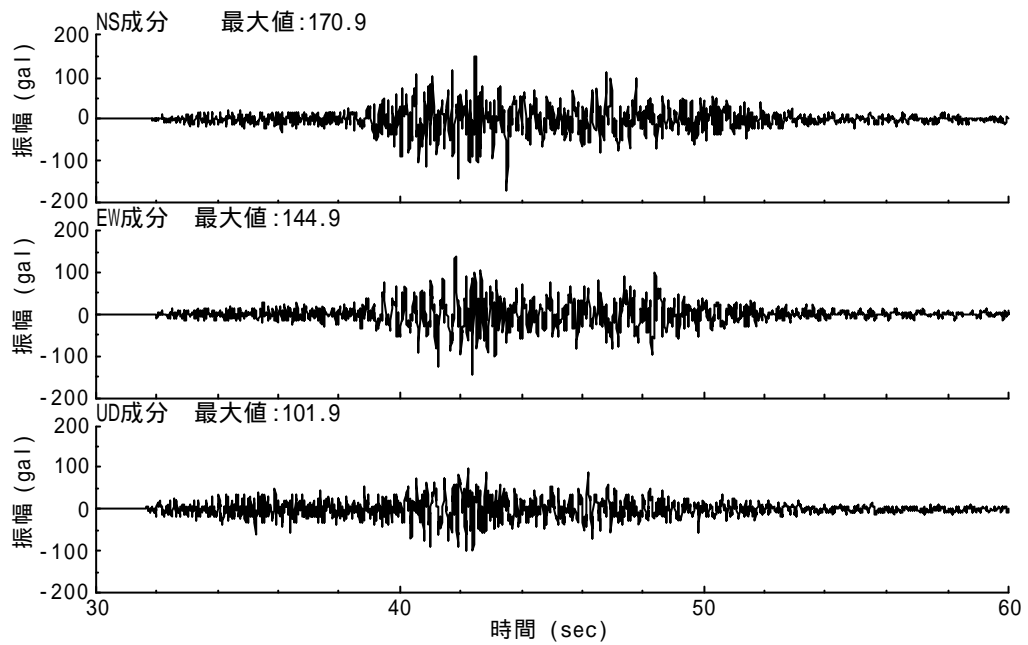


図-9 多々羅大橋 1 AGL - 20m の加速度波形、フーリエスペクトル、加速度応答スペクトル

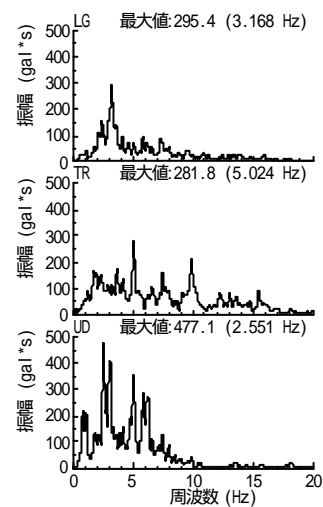
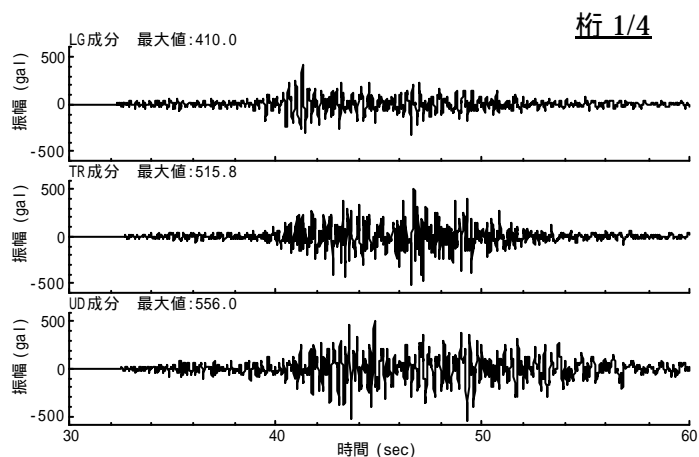
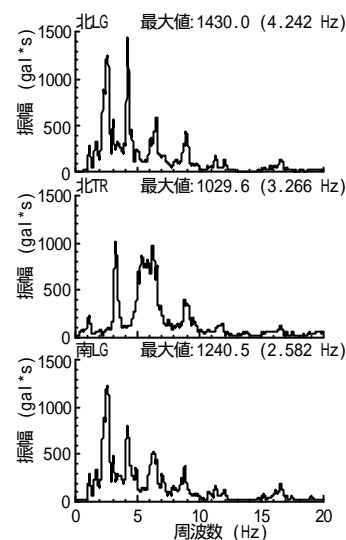
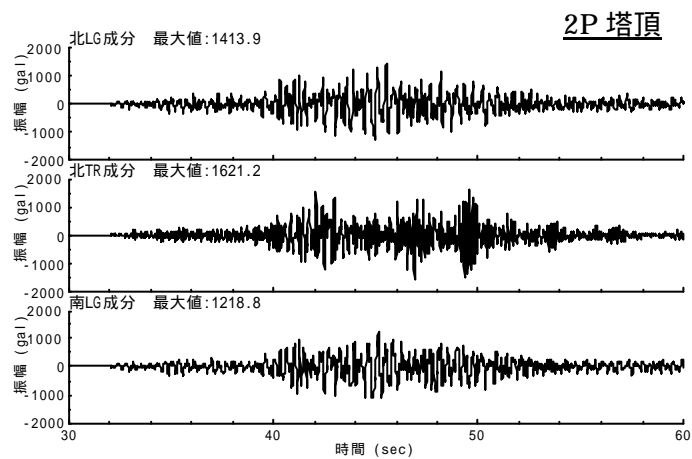
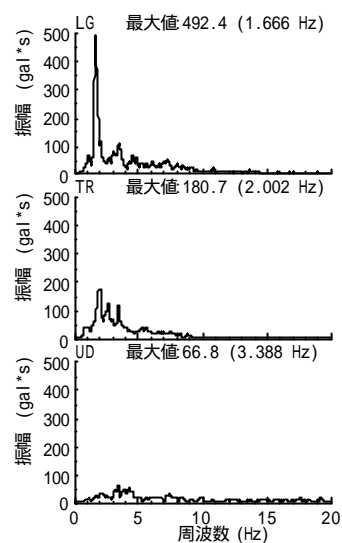
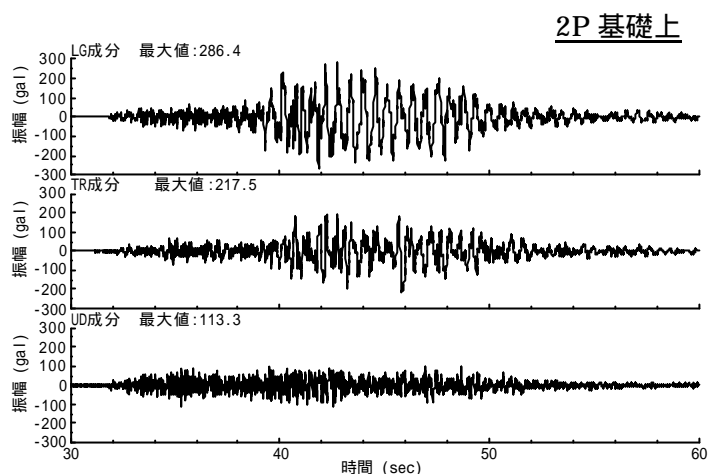


図-10 多々羅大橋 2P 基礎上、2P 塔頂、桁 1/4 (上から) の加速度波形、フーリエスペクトル

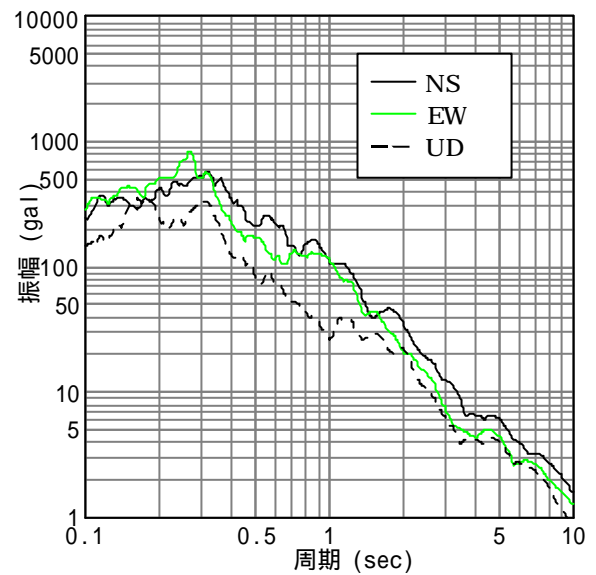
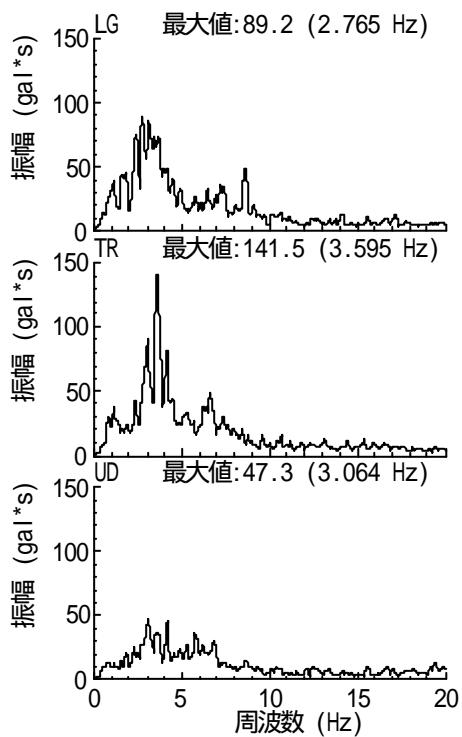
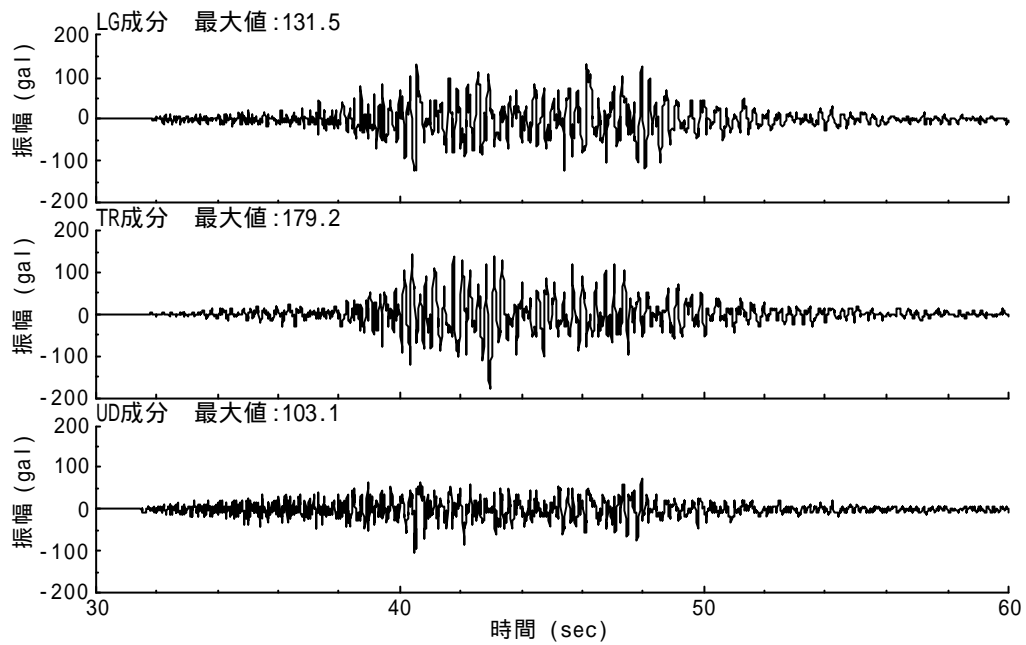


図-12 大三島橋 3AGL - 19.4m の加速度波形、フーリエスペクトル、加速度応答スペクトル

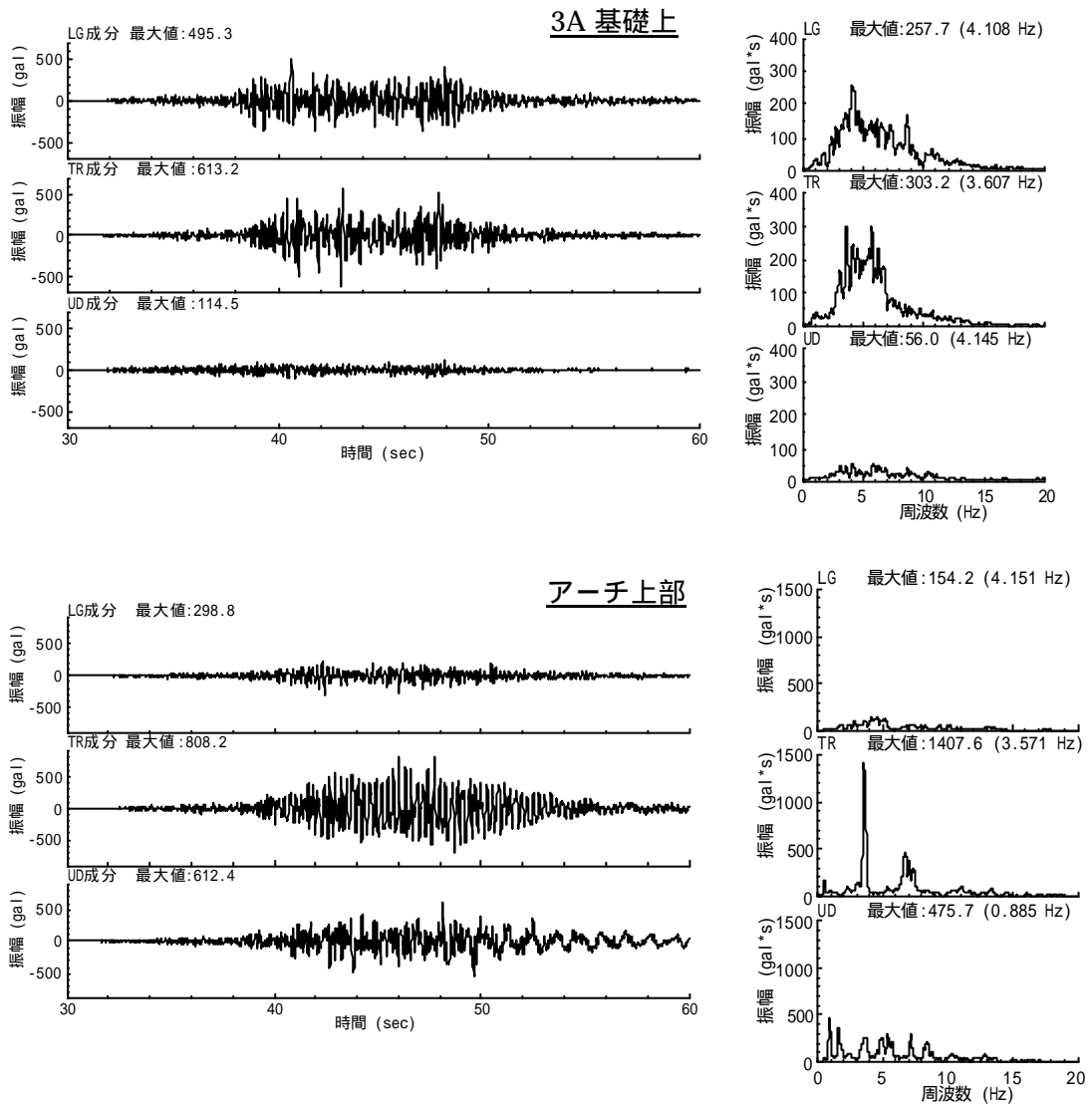


図-13 大三島橋 3A 基礎上、アーチ上部 (上から) の加速度波形、フーリエスペクトル