

東北地方太平洋沖地震による荒川湾岸橋の損傷と応急復旧

小河正次¹・七條 哲彰²・猪瀬研一³

^{1,2}正会員 首都高速道路株式会社 東東京管理局（〒103-0015 東京都中央区日本橋箱崎町43-5）
³正会員 首都高速道路株式会社 技術部（〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1）

1. はじめに

(1) 荒川湾岸橋の概要

首都高速湾岸線の荒川湾岸橋は、昭和52年1月に開通した橋長840mの7径間ゲルバートラス橋で、RC床版を含む上部工重量は約39,000tである。幅員構成は図-1に示すように、標準部は片側3車線（幅員30.5m）で、中央環状線への分岐線が橋上にあることから、最大で片側5車線（幅員48.5m）となり、非常に広幅員な構造となっている。

下部構造は、両端はRC壁式橋脚、中央の6基は鋼製橋脚、基礎は杭径1,500mm、長さ36.5～48.0mの杭基礎である。

(2) 耐震補強工事の実施状況

本橋においては、平成13～16年にトラス本体支承の変位制限構造及び段差防止構造を設置し、平成20～21年に橋脚耐震補強工事として、鋼製橋脚の内部にコンクリート充填を実施した。

現在は平成20年より平成24年度の完成を目標に上

部工の耐震補強工事を実施している。

補強内容は、可動脚及び吊トラス可動部への制振装置の設置、上下弦材などの1次部材への当て板による断面補強、道路床組みの落橋防止システム設置などで、東北地方太平洋沖地震の発生時は、全面的に足場が架設され、当て板及び道路床組み落橋防止システムの設置が概ね完了していたものの、支点上対傾構の当て板補強や制振装置が設置されていない状況であった。

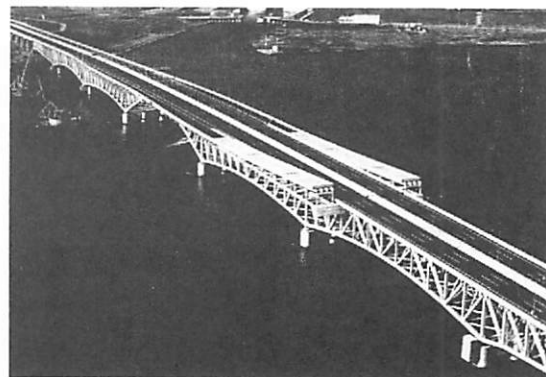


写真-1 完成当時の荒川湾岸橋

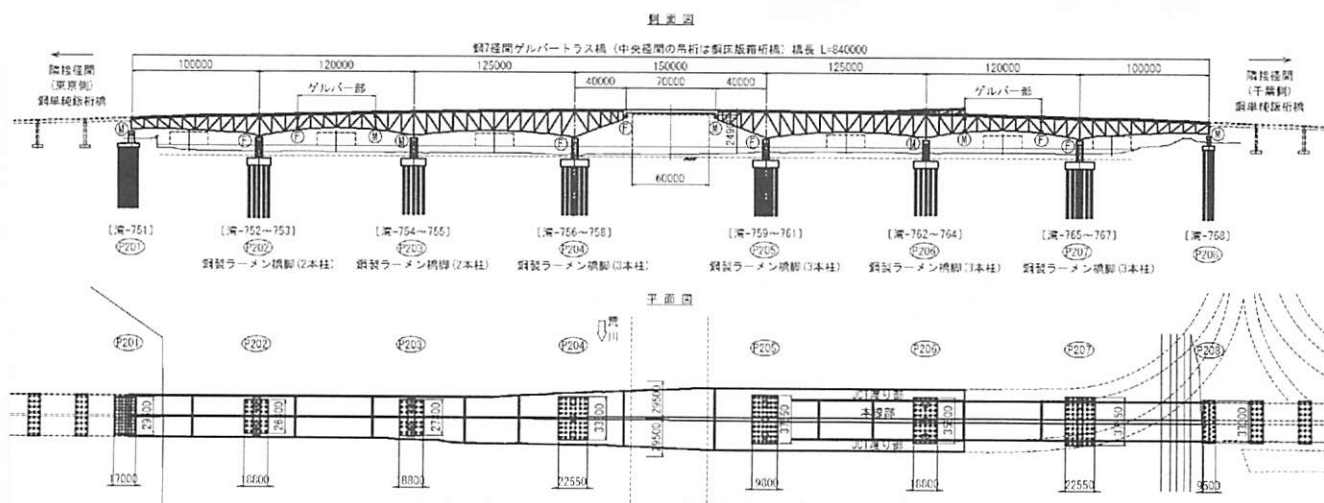


図-1 荒川湾岸橋一般図

2. 損傷状況の概要

東北地方太平洋沖地震による損傷状況を図-2に示す。破断したガセットを始め損傷した多くの部材が橋軸直角方向水平力に抵抗する部材であることから、活荷重に対しては損傷による大幅な耐力の低下はないものの、橋軸直角方向の水平力に対する耐力が低下していると考えられた。

今回の地震はマグニチュード9.0という日本の観測史上最大の地震であり、規模の大きな余震が頻発していた。このため、余震による地震時水平力に対する安全性が確保されていない恐れがあると判断し、当初の橋軸直角方向の耐力を回復させるための応急復旧が完了するまで通行止めを継続することとした。

早期の交通開放のため、各損傷は交通開放までに応急復旧の必要性がある緊急性の高い損傷と、軽微な損傷とに分類し、緊急性の高い損傷については、機能の回復を速やかに実施し、軽微な損傷への対応や恒久的な復旧は交通解放後に実施することとした。以下に各損傷での対応方針を示す。

3. 各損傷の対応方針

(1) ガセットの損傷

ガセットの損傷状況を写真-2に示す。破断を伴う損傷については応急復旧を実施し、変形のみの場合は応力の伝達が可能であると考え、軽微な損傷と判断し、応急復旧を行わないこととした。



(a) 破断ガセット (b) 変形のみガセット

写真-2 ガセット損傷状況

(2) 床組縦桁支承セットボルトの損傷

セットボルトは1縦桁あたりM22のH.T.B4本で構成されており、12主桁以上あるため、1支承線あたり1~2本の破断や変形では床組み全体への影響は小さいものと考えた。なお、支承線全体にわたって破断が発見された箇所においては、全箇所ボルト交換を応急的に実施した。



写真-3 床組み縦桁支承セットボルト損傷状況

(3) 落橋防止構造控え材の損傷

落橋防止構造は、荒川湾岸橋の隣接桁（単純鋼鈑桁）と床組縦桁とを連結する構造である。

損傷は、桁連結装置の控え材と縦桁、横桁との溶接部にき裂や破断が発見された。損傷箇所は、損傷が縦桁、横桁に達していないかを調査し、変形などの問題が無いことを確認した。

そのため、既設の構造は、耐震補強工事において新たに落橋防止構造を設置することから、応急復旧は不要とした。

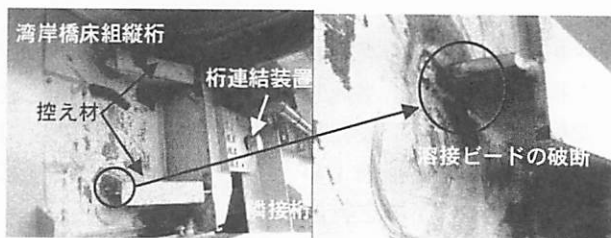


写真-4 落橋防止構造控え材の損傷状況

4. 主な損傷箇所の詳細と応急復旧

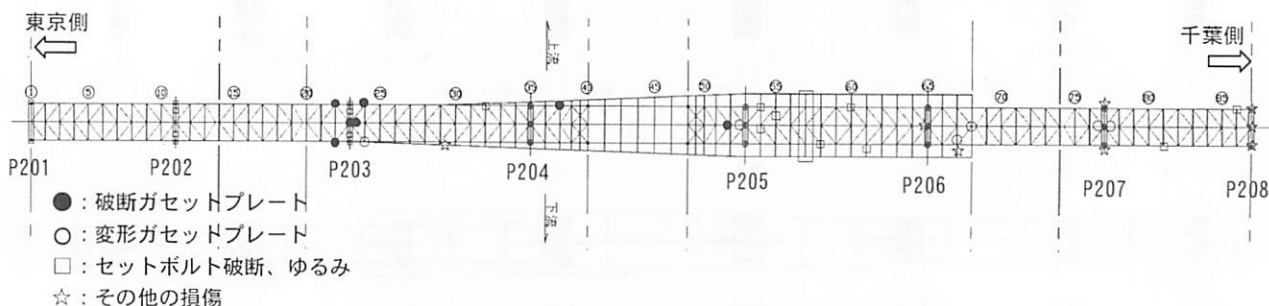


図-2 東北地方太平洋沖地震による荒川湾岸橋の損傷状況

(1) P203 (湾-754, 755) 付近のガセット

a) 損傷状況

P203横支材を中心にガセット損傷が集中しており、図-3に示すように下横構と下弦材ガセット3箇所(図中①, ②, ③), 横支材と下横構ガセット1箇所(④), 下横構と対傾構ガセット1箇所(⑤)の計5箇所のガセットに破断が見られ、⑥ガセットは破断は無いものの変形を生じていた。写真-5に示すように、特に⑤対傾構ガセットでは千葉側のガセットが対傾構添接ボルト部で破断しており、ガセットと横支材の溶接部も破断するなど、非常に大きな損傷となっていた。損傷した部材は全て橋軸直角方向の水平力に抵抗する部材であることから、橋軸直角方向に大きな力や変形が生じたと推測される。

また、破断した既存のガセット厚は9mm(⑤ガセット)又は11mm(⑤以外のガセット)で、下横構や対傾構の部材断面より薄いため、下横構や対傾構に変形などが生じず、ガセットに損傷が集中したと考えられる。

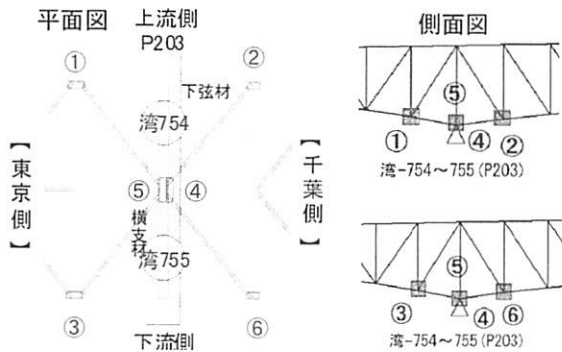


図-3 P203橋脚付近ガセット損傷位置図

b) 応急復旧対策

応急復旧は早期に既存の性能を回復させることを目的としているため、既存部材厚以上の部材で入手

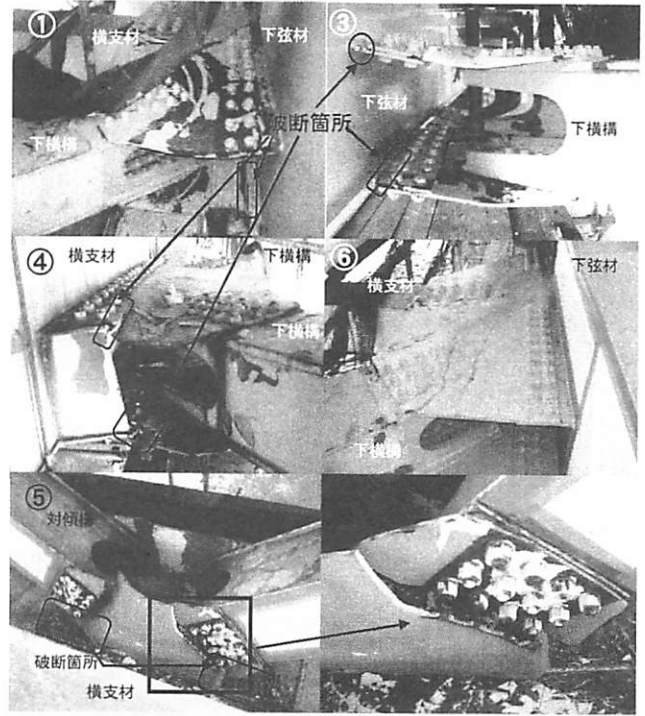


写真-5 P203ガセット損傷状況

損傷ガセットと交換することとした。下弦材及び横支材との取り付けは基本的にはボルト接合とし、密閉部材はワンサイドボルト、それ以外はトルシアボルトとし、既設と同じ本数を配置した。耐震補強部材の当て板がすでに設置されている箇所では、ボルト添接が困難なため溶接とし、ボルト耐力と同等の溶接量を確保することとした。

応急復旧状況を図-4, 5に示す。

施工の問題点としては、①と③のガセットは同じ横支材と添接されていることから、どちらか一方が固定された状態で施工する必要がある、工程上の制約となった。また、横支材、横構のガセット取り付け部が変形している部材があり、矯正に時間がかかったことがあげられる。

③ガセットの施工状況を写真-5に、④, ⑤ガセットの完成状況を写真-6に示す。

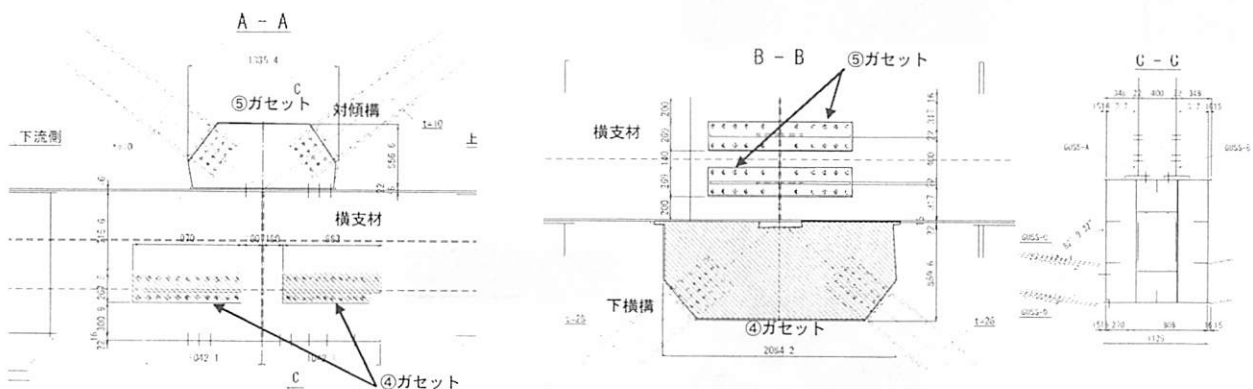


図-4 P203横支材-下横構(④), 対傾構(⑤)ガセット応急復旧図
が可能な部材とし、 $t=22\text{mm}$ で新規ガセットを製作し、

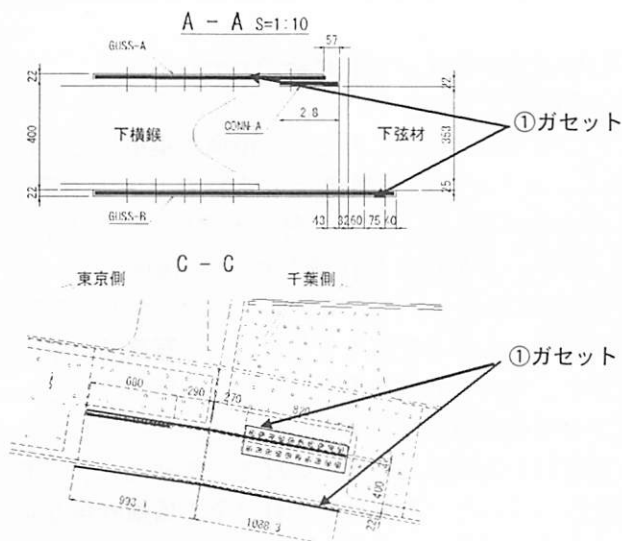
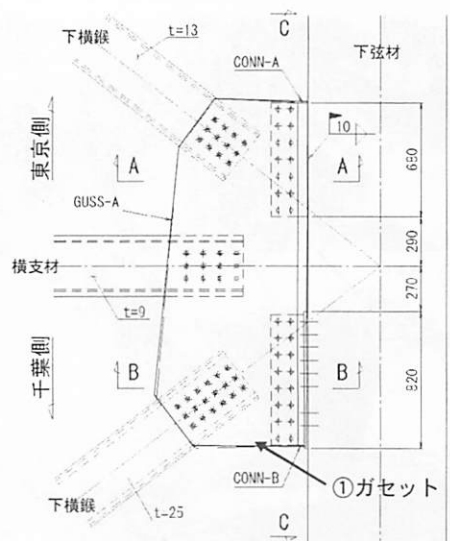
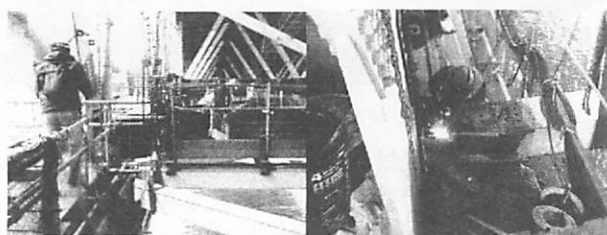
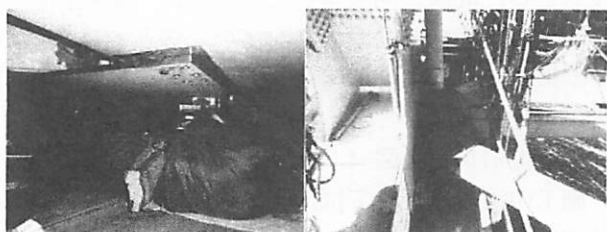


図-5 P203付近①ガセット応急復旧図



(a) 下横構，横支材仮吊上げ

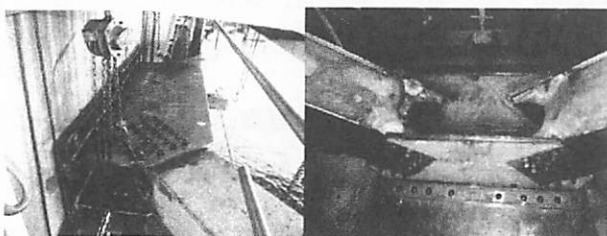
(b) 既設ガセット撤去



(c) ボルト削孔

(d) ガセット交換完了

写真-6 ③ガセット施工状況



(a) ④ガセット

(b) ⑤ガセット

写真-6 ガセット交換完了状況

(2) 道路床組縦桁支承セットボルト

床組縦桁下フランジやトラス横桁に変形は生じていなかったため，破断したボルトの交換のみを実施した。

セットボルトは，既設はM22H.T.Bであったが，応急復旧は入手が容易で孔の加



写真-7 セットボルト
応急復旧状況

工が不要のように，サイズダウンしたM20のトルシアボルトとした。応急復旧ボルトは，せん断力と浮き上がりに抵抗するためのものであるため，大きな軸力を導入する必要が無いことから，本復旧時の施工が容易なように，写真-7に示すようにピンテールが切れない範囲で締め付けを行った。

5. 荷重車測定

交通解放に先立ち，補修後の部材（対傾構，横構，下弦材）が上載荷重により生じる断面力を当初の設計通り正常に伝達しているかを確認し，交通開放時の安全性を検証するために荷重車計測を実施した。また，地震時水平力に対する部材の健全性を検証するために各部材のひずみ計測および加速度計測を1ヶ月間継続してモニタリングした。荷重車計測の評価は，事前に実施した立体格子解析により算出された各部材の断面力と実測結果を比較検証することで行った。荷重ケースは，図-6に示す8ケースである。ケース3，4は損傷を受けたP203の鉛直材，対傾溝，ケース1，2は比較対象の健全脚P204の垂直材，対傾溝，ケース5～8は損傷を受けた下弦材お

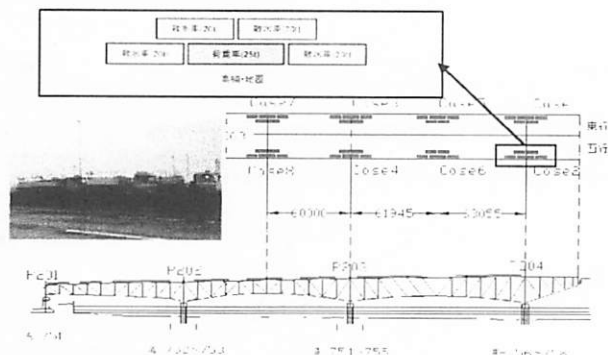


図-6 荷重ケース

よび下横構に着目した荷重条件である。また、荷重は、荷重車（25t）1台、散水車（20t）4台を配置して行った。

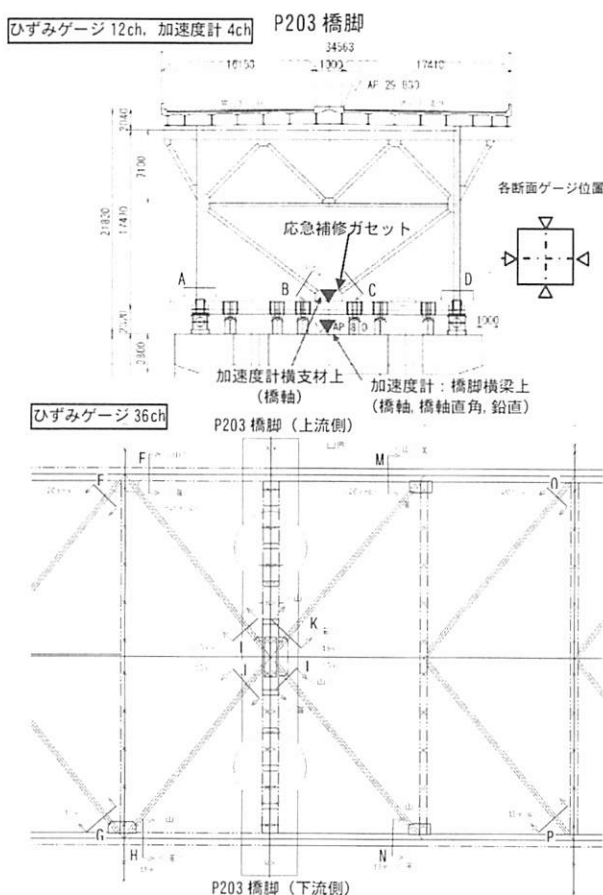


図-7 P203 計測ゲージ位置

表-1 P203 垂直材、対傾構計測結果

位置	方向	部材	ケース3			ケース4		
			解析値	計測値		解析値	計測値	
				1回目	2回目		1回目	2回目
A	東	垂直材	-7.5MPa	-6.6MPa	-6.8MPa	0.5MPa	0.3MPa	-0.1MPa
B	東	対傾構	0.9MPa	0.7MPa	0.5MPa	-1.8MPa	-0.9MPa	-1.0MPa
C	西	対傾構	-2.0MPa	-2.4MPa	-1.3MPa	0.4MPa	-0.4MPa	-0.6MPa
D	西	垂直材	0.2MPa	-0.3MPa	-0.2MPa	-7.3MPa	-6.7MPa	-6.8MPa

P203 垂直材、対傾構に着目したケース 3, 4 の計測結果を表-1 に示す。解析値と計測値は同様の傾向を示しており、比較対象の P204 と同程度であった。また、下弦材、横構に着目したケース 5~8 の計測結果も解析値と同様の傾向を示しており、全体系の立体骨組みモデルの解析結果との整合性や、発生応力のバランスなどから応急復旧部材による応力の伝達が想定通りであることを確認した。

6. 損傷原因の推定

(1) 周辺観測地点で観測された地震動

荒川湾岸橋周辺の防災科学技術研究所の強震観測網 (<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>) において、荒川湾岸橋から概ね10km範囲でデータ収集が可能な観測地点の地震動データから算出した水平成分の加速度応答スペクトル ($h=5\%$) と道路橋仕方の3種地盤でのレベル1及びレベル2の加速度応答スペクトルを図-8に示す。

周期帯によっては、レベル1地震動を超える加速度応答スペクトルが記録されており、荒川湾岸橋においてもレベル1を超える大きな加速度が作用した可能性が考えられる。

特に荒川湾岸橋で影響の大きい、周期1秒付近においてレベル1地震動を超える結果となっている。

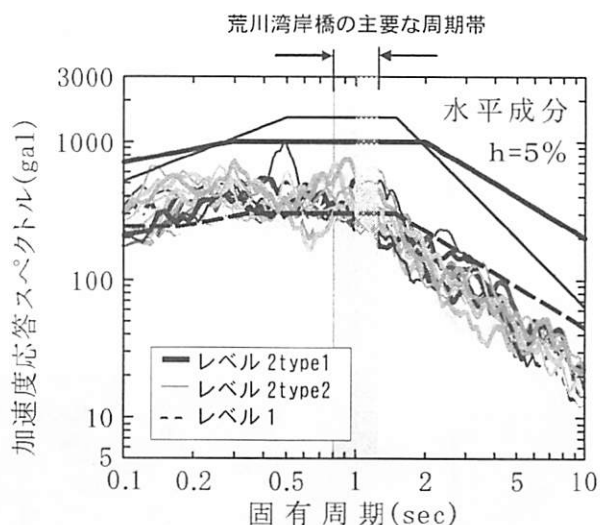


図-8 周辺観測地点での加速度応答スペクトル

(2) 荒川湾岸橋の振動特性

橋軸直角方向の主要な固有振動モードを図-9に示す。主要な固有周期は1.23秒 (7次) で、今回ガセット破断などの損傷の大きかったP203橋脚近辺で大きな変形が出ており、損傷状況と一致している。

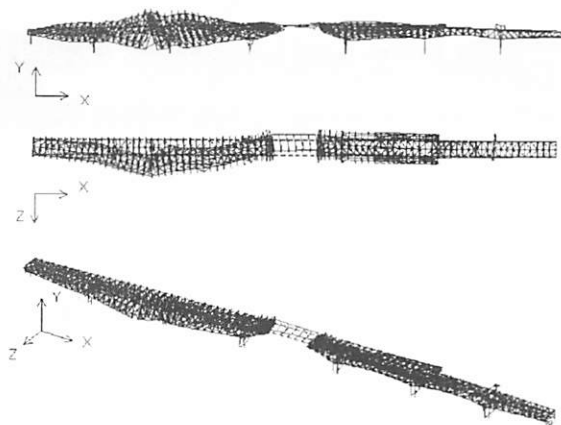


図-9 橋軸直角方向の代表的な固有振動モード図

(3) 破断ガセットの破面観察及び材料試験

a) 材料試験

破断したガセット部材の破壊形態を推定するため、ガセットの材料強度試験、成分分析及び破面観察を実施した。材料試験結果を表-2に示す。

表-2 材料試験結果

	降伏点	引張強さ	破断伸び	吸収エネルギー
試験値	321MPa	461MPa	37%	39J
基準値	≥245	400-540	≥17	≥27

引張試験、シャルピー衝撃試験、成分分析の結果、全てJIS規格の基準値を満足する結果であり、材料の劣化などの問題が無いことが確認された。

b) 破面観察

破面観察は、横支材-対傾構ガセット部材で実施した。その結果、写真-8に示すように延性破面の特徴であるディンプル模様を破面全域で確認した。

なお、溶接割れ等の損傷の起点となるような欠陥は発見されなかった。

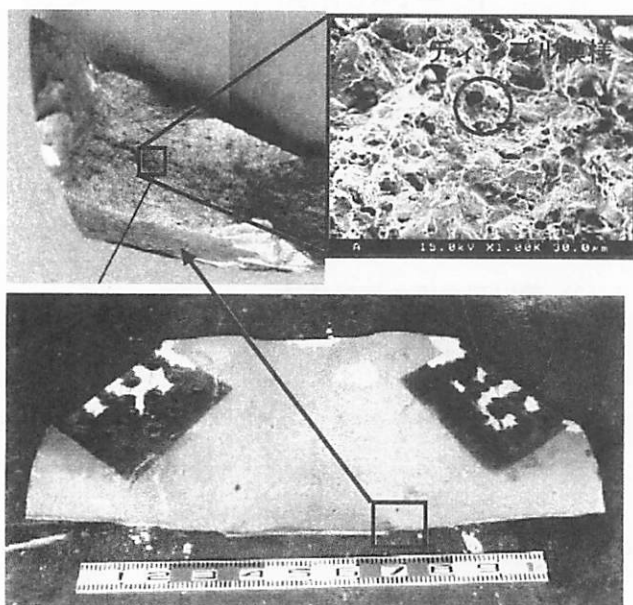


写真-8 ガセットの破面観察結果

7. まとめ

東北地方太平洋沖地震における荒川湾岸橋の主たる損傷状況及び応急復旧をまとめると以下のとおりである。

- ・ 主な損傷は横構、対傾構ガセットなど二次部材の損傷で、橋軸直角方向の地震時水平力による損傷と推定された。また、材料試験の結果問題

が無く、破面観察の結果、溶接欠陥などは発見されなかった。

- ・ 周辺観測地震動の加速度応答スペクトルを比較したところ、荒川湾岸橋の固有周期と一致する周期1秒前後で400～600galを記録しており、道示のレベル1以上レベル2未満の加速度が作用したと考えられる。
- ・ 応急復旧部材の効果について、荷重車計測及び1ヶ月間のモニタリングにより応力伝達が適切になされていることを確認した。

上記より損傷の原因は、損傷の激しかったP203付近が大きく変形する周期帯（1.2s程度）においてレベル1以上の加速度が作用したことにより、耐力の小さい橋軸直角方向部材ガセットに耐力を超過する力が作用し、損傷が発生したものと推定される。

なお、施工中の上部工耐震補強工事が完了すると、上下弦材、垂直材、斜材、支点上対傾構はレベル2地震時に対応した補強を行っているため、今回と同規模の地震であれば、今回発生した支点部付近の損傷は発生しないと考えている。

現在は、上部工耐震補強工事と平行して応急復旧を実施していない部材も含め恒久的な補修工事を実施している。

8. 謝辞

今回は、地震発生時に耐震補強工事を実施中であったため、橋梁全体に設置された足場を用いて詳細な点検、応急補修のための構造検討、施工のための材料の早期入手、作業員の手配など迅速な対応が可能であった。

地震発生から12日という短期間で交通開放を行うことができたのは、施工業者を始めとした関係各社の協力のおかげである。この場を借りて厚く御礼を申し上げるものである。