

十勝沖地震で被災した鉄筋コンクリート橋脚の地震時応答解析による被害分析

名古屋工業大学 学生会員 ○藤田 康平
 名古屋工業大学 正会員 富 健一
 名古屋工業大学 正会員 糸山 豊
 名古屋工業大学 フェロー会員 梅原 秀哲

1. はじめに

2003年に発生した十勝沖地震では、比較的固有周期の長い鉄道橋や道路橋の長大橋で大きな被害が発生した。被害内容としては、写真-1に示すような鉄筋コンクリート橋脚の柱部における曲げ破壊、橋脚天端の支承部の押し抜きせん断破壊の発生等が報告¹⁾されている。

十勝沖地震により観測された地震動は、概ね継続時間が長くやや長周期の波動成分を含むことから、海溝型巨大地震特有の典型的性質を有している。土木構造物以外では、タンク内の石油がスロッシング現象（液面揺動）を起こして火災が発生する被害が報告されているが、これは十勝沖地震が長周期成分を多く含んだ地震動であった影響と推測されている。十勝沖地震により大きな被害が発生した橋は、大きな河川に架橋されている規模の非常に大きい構造物であり、固有周期が比較的長い。よって、被災した原因の一つとして、十勝沖地震の特徴である長周期成分の影響があると推測される。

そこで本研究では、十勝沖地震で被災した鉄筋コンクリート橋脚に対して、当該地点付近の地盤特性を考慮した地表面地震波による動的応答解析を実施し、解析結果と被災状況の整合や、長周期成分を多く含む地震動と構造物の地

震挙動の関係を調べた。また、比較対照として、コンクリート標準示方書²⁾（以下、コン示と記す）により示されている海洋型地震動や、道路橋示方書³⁾（以下、道示と記す）に示されている海溝型巨大地震（タイプI地震動）による解析も実施した。

2. 解析手法および対象橋脚

解析手法として、材料非線形性を考慮した立体骨組みモデルによる地震時応答解析法を用いた。

解析対象は、被災した道路橋の内、鉄筋コンクリート橋脚の段落し部が曲げ破壊を起こした千代田大橋P13とした。千代田大橋の全体一般図を図-1に示すが、P13は十勝川右岸側の高水敷に架橋されている5径間PC単純T桁を支持する橋脚であり、張出式小判型橋脚（ケーソン基礎）より構成される。塑性化すると思われる柱部は、図-2に示すようにファイバーモデルでモデル化し、橋脚梁部は弾性梁要素としてモデル化した。柱基部はケーソン基礎により完全に固定されている条件とした。ファイバー要素には、コンクリートおよび鉄筋の材料非線形履歴モデルを考慮する。鉄筋およびコンクリートの材料非線形モデルは、東京大学コンクリート研究室で開発された鉄筋コンクリートの構成則⁴⁾であるCOM3モデルを用いる。なお、本研究では、解析ツールとしてUC-WIN/FRAE (3D)を使用した。

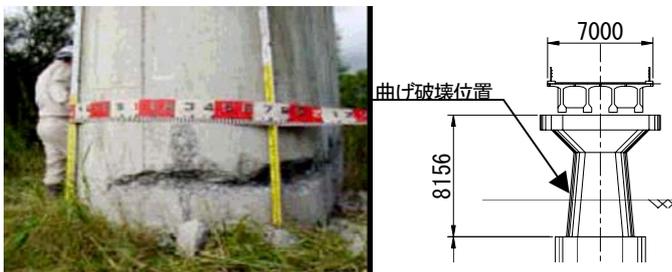


写真-1 千代田大橋P13の被災状況

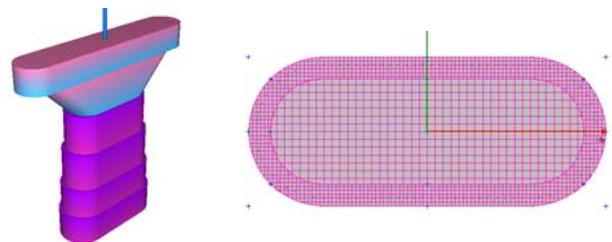


図-2 橋脚における柱部のモデル化

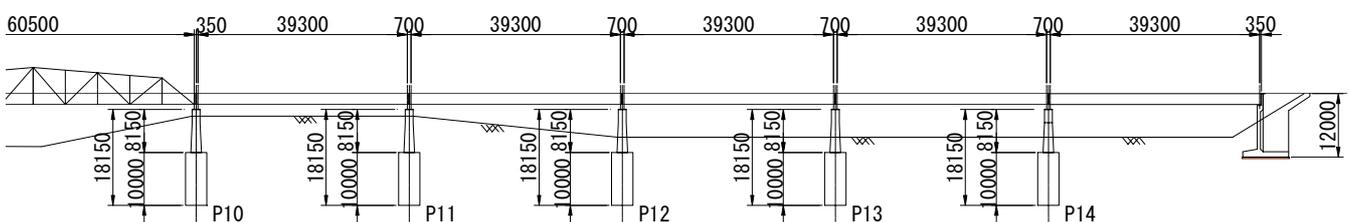


図-1 千代田大橋 橋梁一般図 (P13側)

3. 入力地震動

本研究で用いた地震動加速度の概要を表-1に示す。

地表面相当の入力地震動加速度は、①~④は工学的基盤面の地震動加速度を推定し、千代田大橋架橋地点の地盤条件を考慮した地震応答解析⁹⁾を行うことにより求めた。①についてはK-NET[®]の地中データを使用し、地盤の地震応答解析により工学的基盤面の地震動に変換したものを使用した。①地震動は基盤面での断層方向とその直角方向の成分から地表面の加速度を算出したため、水平2方向を同時入力して解析を行った。コン示および道示の地震動による解析は、橋軸方向、直角方向の2方向に対してそれぞれ実施した。

4. 解析結果と考察

解析結果の考察の一例として、推定した十勝沖地震による解析結果から推測される損傷と、実際の損傷結果の比較を表-2に示す。解析結果によると、段落し部で発生したコンクリートの圧縮ひずみは終局ひずみを超えているため、解析上においてもかぶりコンクリートの剥落が発生する結果となった。これは、現場での損傷結果と一致している。また、ファイバーモデルによる段落し部のひずみ分布を図-3に示すが、終局ひずみを超える範囲は一部分となっており、これについても現場での損傷状況を概ね再現できている結果となった。

また、各地震動におけるコンクリートひずみと橋脚天端の最大変位の解析結果一覧表を表-3に示す。解析結果によると、②~⑥は十勝沖地震よりも加速度の大きな地震動であるため、どの地震動においてもコンクリートの終局ひ

ずみを超える結果となった。ただし、加速度の大きさと応答値は必ずしも比例していない結果となっているので、その原因については今後検証していく必要がある。

5. まとめ

2003年に発生した十勝沖地震により被災した鉄筋コンクリート橋脚に対して、当該地点の地盤を考慮した地震動を用いて動的解析を実施し、実際の被災状況と近似した解析結果が得られた。

今後は、十勝沖地震のような長周期成分を多く含んだ地震動が鉄筋コンクリート橋脚に作用した際の構造物の挙動と加速度との関係に着目して、地震動の固有振動数や最大加速度の違いにより橋の応答にどのような影響があるかについて検証していく必要があると考えている。

<参考文献>

- 1) 土木学会：2003年に発生した地震によるコンクリート構造物の被害分析
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 耐震性能照査編，2002年4月
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I~V，平成8年12月
- 4) 岡村甫，前川宏一，鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂出版，1991.5
- 5) 杉戸真太ほか：周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察，土木学会論文集 No.493/III-27，pp.49-58，1994.6
- 6) 防災科学技術研究所 K-NET ホームページ：
<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>

表-1 解析地震動の概要

地震名	発生日	最大加速度 (gal)		卓越振動数 (Hz)	
		LG	TR	LG	TR
①2003年十勝沖地震	2003/9/26	263	282	3.381	2.539
②コン示・海洋1		505	505	0.330	0.330
③コン示・海洋2		511	511	1.514	1.514
④道示・I-II-1		363	363	0.378	0.378
⑤道示・I-II-2		385	385	0.195	0.195
⑥道示・I-II-3		365	365	0.366	0.366

表-2 解析結果と被災状況の比較

損傷状況	解析上での想定される結果	
	解析結果	許容ひずみ
かぶりコンクリートの剥落	コンクリートの圧縮ひずみが終局ひずみ以上	
軸方向鉄筋のほらみだし	軸方向鉄筋が降伏応力以上	
段落し部	解析結果	
コンクリートの圧縮ひずみ	-2417	-2000
鉄筋の引張ひずみ	11894	8454

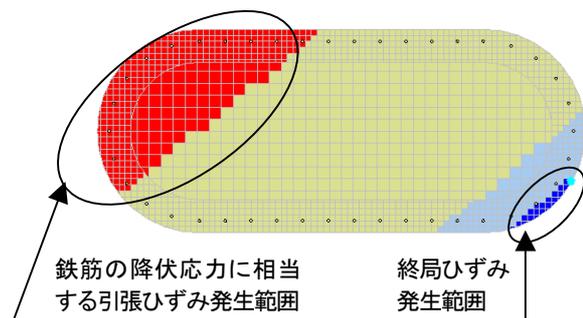


図-3 段落し部の損傷状況

表-3 各地震動における解析結果一覧

地震名	コンクリートひずみ		橋脚天端の最大変位	
	LG	TR	LG	TR
①2003年十勝沖地震	2417	2417	22.4 mm	18.0 mm
②コン示・海洋1	5120	3923	157.8 mm	41.6 mm
③コン示・海洋2	2283	3102	73.4 mm	32.5 mm
④道示・I-II-1	14248	1340	260.7 mm	13.1 mm
⑤道示・I-II-2	145035	1953	1108.9 mm	20.0 mm
⑥道示・I-II-3	21086	1567	305.5 mm	15.4 mm