

2004 年新潟県中越地震により RC 橋脚に損傷を受けた橋梁の被災分析

独立行政法人土木研究所 正会員 ○中村 裕充

独立行政法人土木研究所 正会員 運上 茂樹

1. はじめに

2004 年 10 月 23 日 17 時 56 分頃、新潟県中越地方で最大震度 7 を観測する新潟県中越地震 (M6.8) が発生した。本文では、地震により円形断面 RC 単柱橋脚に損傷が生じた橋梁を対象に静的解析および実際に観測された地震動データを用いた動的解析を行い、本橋梁の被災状況の検討、分析を行った結果を報告する。

2. 解析対象橋梁と最寄の強震観測記録

解析対象橋梁および損傷状況を図-1 に示す。本橋梁は橋長 170m の橋梁である。橋脚は昭和 55 年の基準よりも前に設計されたものであり、P1・P6 橋脚、P2・P5 橋脚は同形状・同配筋である。P4 橋脚は柱中央部 1 箇所、その他の橋脚は柱上部、中央部の 2 箇所で段落しされている。橋脚の被災は上部段落し位置で生じており、P5 橋脚の損傷が最も大きかった。橋脚の損傷は橋軸直角方向面が顕著であったことからこの方向の地震力によって被災したと推定される。このため、以後の解析では橋軸直角方向を対象とした。

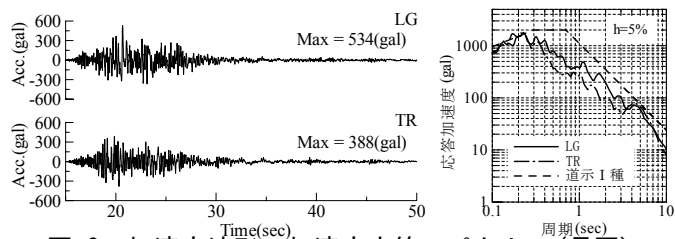


図-2 加速度波形・加速度応答スペクトル(長岡)

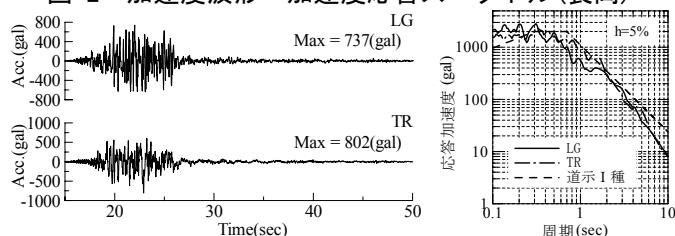


図-3 加速度波形・加速度応答スペクトル(長岡支所)

本橋梁位置での強震記録は得られていないが、最寄の強震観測記録である K-NET 長岡、長岡支所のデータを本橋梁の橋軸、橋軸直角方向に変換した加速度波形・加速度応答スペクトルを図-2, 3 に示す。長岡は固有周期が 0.5 秒以下、長岡支所は 0.7 秒以下の構造物に影響の大きい地震動であったことがわかる。

3. 橋脚の耐力-変形特性

まず、各橋脚毎に一樣震度を与えたプッシュオーバー解析を行い橋脚の耐力と変形性能を把握した。橋脚の代表的なモデルを図-4 に、解析結果を図-5、表-1 に示す。全橋脚で上部 (P4 橋脚は中央) 段落し位置から降伏し、この位置で終局状態を迎える。プッシュオーバー解析から求められた耐力-変位関係をもとに式(1)より終局じん性率 μ_u を求め、エネルギー一定則の関係を用いて式(2)により、橋脚が終局に至るときに概略どの程度の弾性応答震度 k_{hc1} が作用するのかを把握した。本文では詳細は省略するが、損傷の大きかった P5 橋脚の μ_u , k_{hc1} が最小となり、じん性に劣ること、終局に至りやすいことがわかった。次に、図-2, 3 の加速度応答スペクトルより各橋脚の固有周期 T (秒)に対する応答加速度 S_a (gal)を求め、仮に橋の位置でこれらの地震動が生じたとして、地震動によって橋脚に作用したと考えられる弾性応答震度 k_{hc2} を式(3)により算出した。

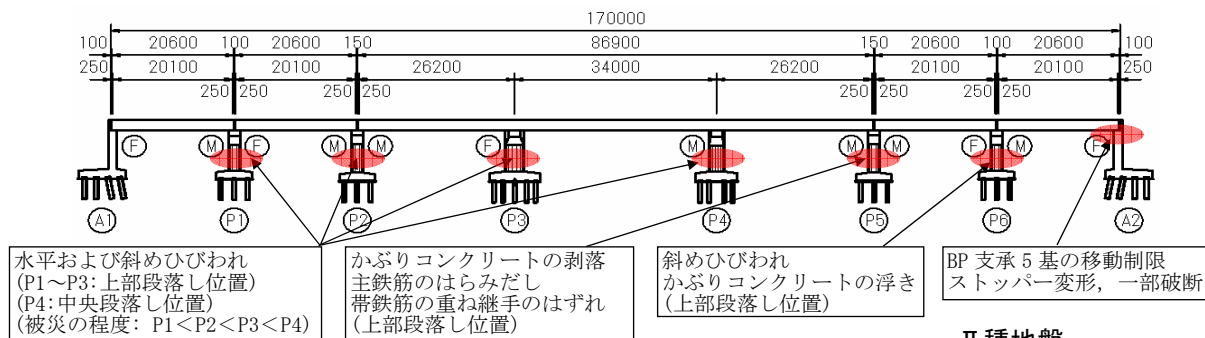


図-1 解析対象橋梁と被災状況

II 種地盤

キーワード 新潟県中越地震, 被災分析

連絡先

〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6

TEL 029-879-6773 FAX 029-879-6736

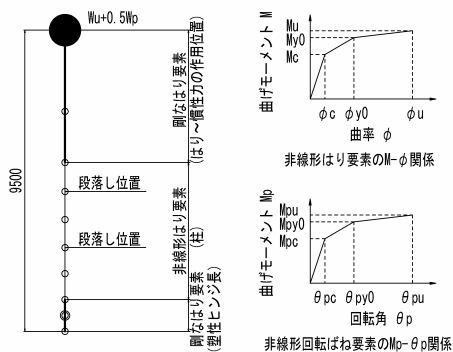


図-4 プッシュオーバー解析モデル

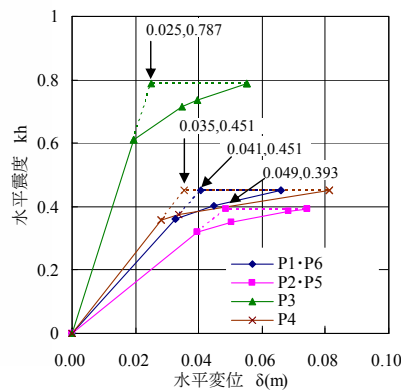


図-5 水平震度-水平変位

表-1 水平震度-水平変位

下部構造	水平震度 \$K_h\$	上部構造の慣性力の作用位置における水平変位 \$\delta\$ (m)	橋脚の状態
P1	0.363	0.033	上部段落し位置が初降伏に達する
	0.403	0.045	中央段落し位置が初降伏に達する
	0.451	0.066	上部段落し位置が終局に達する
P2	0.320	0.040	上部段落し位置が初降伏に達する
	0.350	0.050	中央段落し位置が初降伏に達する
	0.384	0.069	柱基部が初降伏に達する
P3	0.393	0.074	上部段落し位置が終局に達する
	0.612	0.019	上部段落し位置が初降伏に達する
	0.715	0.035	柱基部が初降伏に達する
P4	0.736	0.039	中央段落し位置が初降伏に達する
	0.787	0.055	上部段落し位置が終局に達する
P5	0.358	0.028	中央段落し位置が初降伏に達する
	0.375	0.034	柱基部が初降伏に達する
	0.451	0.081	中央段落し位置が終局に達する

さらに、断面を曲げ破壊型と仮定した場合の応答塑性率 μ_r を式(4)により算出した。ここに、 W は曲げ破壊型の等価重量、 P_a は上部段落し位置での終局水平耐力 P_u である。 k_{hc2} , μ_r を算出した結果、損傷の大きかった P5 橋脚の k_{hc2} は全橋脚の中で最小となり、 μ_r の μ_u に対する超過の程度は最大となり約 4.5 倍となった。また、他の橋脚の μ_r も μ_u を超過し、その程度は $P3 < P4 < P1 \cdot P6 < P2 \cdot P5$ の順で大きくなった。しかしながら、実際の被害は $P1 < P2 < P3 < P4 < P5$ (P6 橋脚の損傷は概観から見たひびわれの程度は P2 橋脚と同程度である。) となり、特に P1 や P2 橋脚の損傷については必ずしも一致しない結果となり、橋脚毎ではなく橋全体として考慮することが必要と考えられる。

$$\mu_u = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (1) \quad k_{hc1} = k_{hy} \sqrt{2\mu_u - 1} \quad (2) \quad k_{hc2} = \frac{S_a}{980} \quad (3) \quad \mu_r = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{k_{hc2} W}{P_a} \right)^2 + 1 \right\} \quad (4)$$

4. 動的解析

図-1に示す橋全体を平面骨組構造にモデル化し動的解析を行った。本橋の位置での地震記録は得られていないため、この地点の地震動について不確実性があるが、入力地震動としては図-2, 3 に示した地震動の主要動を含む 20 秒間とした。動的解析の結果、K-NET 長岡 TR は全ての部材において弾性域内の応答を示したためここでは K-NET 長岡支所 TR の結果のみを示す。橋脚天端の最大応答変位、上部段落し位置の最大応答曲率の初降伏・終局曲率に対する比率、橋脚の被災状況を表-2 に示す。最大応答変位は被害の大きかった P5 橋脚が一番大きく 13.92(cm)となる。最大応答曲率の初降伏・終局曲率に対する比率については全ての橋脚で降伏し、P3～P5 橋脚は終局限界を超えた。超過の比率は実際の被災状況と同様に $P1 < P2 < P3 < P4 < P5$ の順となっており、被害の大きかった P5 橋脚は 1.57 となる。しかしながら、ここには示していないが、上部段落し位置以外でも終局を超える応答を示す箇所があり、本橋の被災状況を十分に再現できていない点もあり、さらに分析が必要と考えられる。

5. まとめ

プッシュオーバー解析から損傷の大きかった P5 橋脚は他の橋脚と比べるとじん性に劣り、また、橋脚が終局に至るときの弾性応答震度は全橋脚の中で最小となることがわかった。動的解析の応答変位、応答曲率の大きさは概ね被災状況に対応する傾向を示した。

6. 謝辞

強震観測記録は、独立行政法人防災科学技術研究所が運用している K-NET の情報を利用させて頂きました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 国土交通省国土技術政策総合研究所, (独) 土木研究所, (独) 建築研究所: 平成16年(2004年)新潟県中越地震被害に係わる現地調査概要, 2005.1
- 国土交通省国土技術政策総合研究所, (独) 土木研究所: 平成16年(2004年)新潟県中越地震土木施設災害調査報告, 2006.1

表-2 最大応答変位, 最大応答曲率, 被災状況

		P1	P2	P3	P4	P5	P6
変位(橋脚天端)	時刻(sec)	6.64	8.07	8.09	8.10	8.09	7.96
	最大応答変位(cm)	4.96	9.60	11.45	13.71	13.92	4.99
曲率(上部段落し位置)	初降伏曲率(1/m)	0.00136	0.00138	0.00077	0.00105	0.00138	0.00136
	終局曲率(1/m)	0.00618	0.00580	0.00504	0.00515	0.00580	0.00618
	最大応答曲率(1/m)	-0.00167	-0.00558	-0.00772	-0.00797	-0.00912	-0.00197
	初降伏曲率に対する比率	1.23	4.04	10.03	7.59	6.61	1.45
	終局曲率に対する比率	0.27	0.96	1.53	1.55	1.57	0.32
被災状況	被災箇所: 上部段落し位置	水平および斜めひびわれ	水平および斜めひびわれ	水平および斜めひびわれ	水平および斜めひびわれ	水平および斜めひびわれ	斜めひびわれ かつコンクリートの浮き
	被災の程度	P1 < P2 < P3 < P4	最も被害大				