

# (86) 鉄筋コンクリート橋脚の地震被災度の判定方法

建設省土木研究所 岩崎敏男  
環境庁大気保全局 萩原良二

## 1 まえがき

道路は、地震後の救援・復旧活動等に対して重要な役割を担っており、耐震性に優れていると共に、仮に被害を受けたとしても、その機能を早急に回復することが必要とされる。道路の一部を構成している橋梁は、地震後において、道路機能を支配する重要な要素となる場合が多い。そこで、ある程度以上の地震動が作用した場合には、橋梁の点検を行い、被害の有無、被災程度を調査し、必要に応じて交通規制や復旧工事が行われる。このために、橋の構造に精通している技術者の判断が必要となる場合がある。このような判断を現場技術者が容易にかつ統一的に行う点検・被災判定・復旧技術のためのマニュアルが作成されれば、地震後の救援・復旧活動に資するところが大きいと考えられる。

かかる背景のもとに、建設省が昭和56年度から5カ年計画で実施している総合技術開発プロジェクト「震災構造物の復旧技術の開発」の一環として、橋梁の震災復旧技術に関する研究が進められている。本文は、この研究プロジェクトにおいて検討中の鉄筋コンクリート(RC)橋脚の地震被災度判定法についての素案を提示するものである。

## 2. 鉄筋コンクリート橋脚の損傷モードと残留耐力

RC橋脚躯体の既往地震による主被害として(1)曲げモーメントが一般に最大となる躯体基部での破損、(2)軸方向鉄筋の段落し(カットオフ)部での破損、(3)ラーメン橋脚の隅角部の破損等があげられる。ここでは、(1)と(2)の被害につき、建設省土木研究所

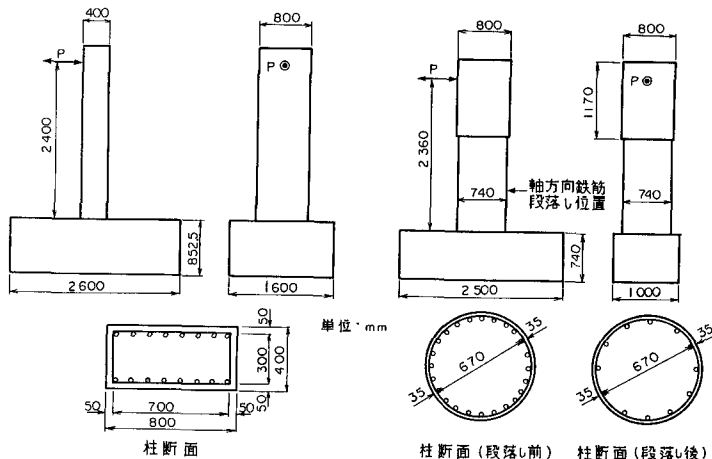
で実施した模型載荷実験の結果に基づいて、損傷モードから残留耐力を推定する方法を示す。

表-1、図-1は実験に用いたRC橋脚模型の概要である。<sup>2)</sup>橋脚天端に地震震重に相当する正負交番水平力を載荷した。載荷履歴は、供試体1-1~1-5に対しては降伏変位 $S_y$ の整数倍の変位振幅で10回の交番繰返し載荷、供試体2-1~2-3に対しては降伏変位 $S_y$ から $0.1 S_y$ ずつ変位振幅を漸増して交番繰返し載荷とした。

RC橋脚模型の損傷の進展状

表-1 RC橋脚模型の諸元

供試体	柱高 (m)	せん断 支間比 h/d	軸方向鉄筋		帯鉄筋比 $\rho_w$ (%)	軸力 (t)		
			径、本数	引張鉄筋 比 $\rho_t$ (%)				
躯体基部破壊	1-1	2.40	6.9	D19×20	1.02	なし	0.08	0
	1-2	2.40	6.9	D19×16	0.82	なし	0.08	0
	1-3	2.40	6.9	D19×16	0.82	なし	0.16	0
	1-4	2.40	6.9	D16×14	0.50	なし	0.08	0
	1-5	2.40	6.9	D13×12	0.27	なし	0.08	0
鉄筋段落し部破壊	2-1	2.36	3.7	D13×24 D13×12	0.22 0.13	1段 (下端から 0.67m)	0.04	44.0
	2-2	2.36	3.7	D13×24 D13×12	0.22 0.13	1段 (下端から 0.67m)	0.04	54.4
	2-3	3.03	4.8	D13×36 D13×21 D13×12	0.32 0.20 0.13	2段 (下端から 0.67m, 1.33m)	0.04	44.0



(a) 躯体基部破壊

(b) 軸方向鉄筋段落し部破壊

図-1 RC橋脚模型の主要諸元図

況の例を図-2に示す。以下に図-2の3ケースについて損傷進展状況を説明する。

(a) 躯体基部破壊橋脚(一般の場合)——まず、曲げ引張りにより水平ひびわれが生じ、基部において軸方向鉄筋が降伏した後、斜めひびわれが発生・進行し、貫通する。さらに変形が大きくなると圧縮側のコンクリートが圧壊し、かぶりコンクリートがはく離して鉄筋が露出する。その後は軸方向鉄筋の座屈、はらみ出しが生じ、ついに鉄筋が破断し破壊に至る。

(b) 躯体基部破壊橋脚(軸方向鉄筋比小の場合)——水平ひびわれ、局部的な斜めひびわれの発生・貫通、かぶりコンクリートの圧壊・局部的はく離、躯体とフーチングのずれ、軸方向鉄筋の破断へと進展し、破壊に至る。この場合は、斜めひびわれとかぶりコンクリートのはく離は局部的であり、顕著な破損は出ない。

(c) 軸方向鉄筋段落し部破壊橋脚——水平ひびわれがまず生じ、その後軸方向鉄筋段落し部において鉄筋が降伏し、その位置から斜めひびわれが発生する。変形の増大に伴って斜めひびわれが大きくなり、鉛直ひびわれへと進展する。その後段落し部でかぶりコンクリートがはく離し、鉄筋が露出し、はらみ出し、破壊に至る。

次に図-3はこの3ケースについて荷重-変位履歴(包絡線)と損傷の進展の関係を示す。(a)、(b)の場合は、損傷が徐々に進行し、軸方向鉄筋降伏後も変形に追従して耐力を保持し続け、耐力が降伏耐力以下に低下するまでの変形量(終局変位)は大きい。これに対して、(c)の場合は、損傷が急激に進み、小さな変形量で耐力が低下し、脆性的な破壊を呈する。構造部材の粘り強さの指標であるじん性率(ダクティリティ・ファクター) = 終局変位  $\delta_u$  / 降伏変位  $\delta_y$  は、前者の場合4以上、後者の場合2~3程度の値を得た。(a)、(b)の場合には、かぶりコンクリートが圧壊してはく離するまでは降伏耐力以上の耐力を保持しており、軸方向鉄筋がはらみ出すあたりで耐力が降伏耐力以下に低下し、鉄筋の破断に至っている。一方、(c)の場合には、斜めひびわれが貫通して鉛直ひびわれに進むと耐力は降伏耐力程度までに低下し、その後にかぶりコンクリートのはく離、軸方向鉄筋のはらみ出し、破断が生じている。

### 3. 鉄筋コンクリート橋脚の地震被災度の判定方法

前項に示した、RC橋脚模型の正負交番荷重実験結果に基づき、RC橋脚の地震被災度判定手法の一試案として表-2(躯体基部破壊橋脚の場合)、および表-3(軸方向鉄筋段落し部破壊橋脚の場合)を

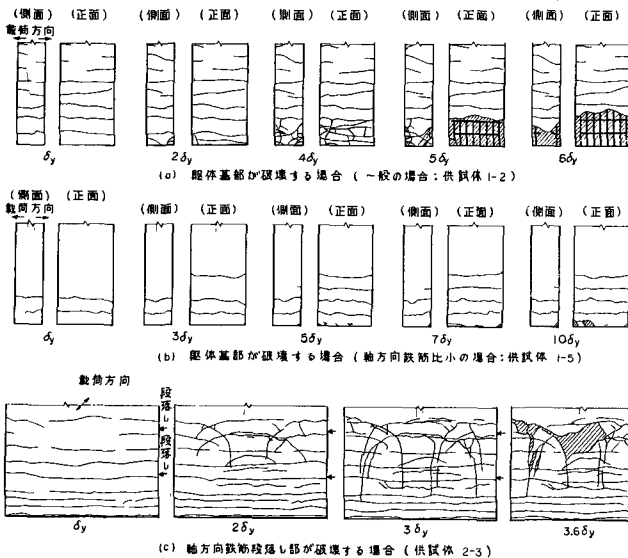


図-2 RC橋脚模型の損傷の進展状況の模式図

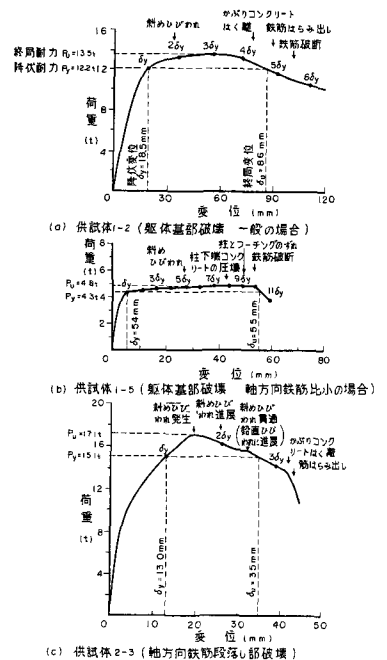


図-3 荷重-変位履歴(包絡線)と損傷の進展との関係

提案する。<sup>3)</sup> これらの表には、地震後の点検時に観察しうる損傷状況と残留強度、残留変形性能の関係、ならびに各損傷に対する緊急措置(交通規制、緊急措置工事)、復旧工法(応急復旧、本復旧)の目安を示す。ここで残留変形性能とは、終局状態に至るまでに、あとの位の塑性変形が起こりうるかを示すもので、 $100 \times (\delta_u - \delta) / (\delta_u - \delta_y) (\%)$  で定義している。 $\delta_u$  は終局変位、 $\delta_y$  は降伏変位、 $\delta$  は任意の変位である。

橋脚躯体基部が地中にある場合は、地中部の損傷にも注意して点検する必要がある。地表面近くの損傷で、それが躯体基部の損傷であることが、現場状況または設計図面から確認出来る場合は表-2を用いてよいが、躯体基部の損傷であるとの確認が出来ない場合は、表-2を用いると危険側の判定となるため、表-3を用いる。

図-4 (躯体基部破壊橋脚の場合) および図-5 (軸方向鉄筋段落し部破壊橋脚の場合) は、RC橋脚の荷重-変位包絡線上に各損傷モードの発生時期を明示したものであり、これより外観できる損傷状況と変位履歴(損傷度)の関係、損傷状況と残留強度、残留変形性能の関係を読取ることができる。図-4は表-2の場合、図-5は表-3の場合に対応している。

#### 4 あとがき

地震後において道路の機能を保持し続けることは極めて重要なことである。仮に、地震被害が生じた場合にも可急的速やかに道路機能を回復させる必要がある。このためには、道路の点検、なかでも橋梁の点検を行い、損傷が発見された場合には、被災の程度と残留耐力を把握し、緊急措置と復旧工事を適確に行う必要がある。本小文では、外観によるRC橋脚の被災度の判定法、さらに推定される残留耐力に応じて必要とされる交通規制、緊急措置

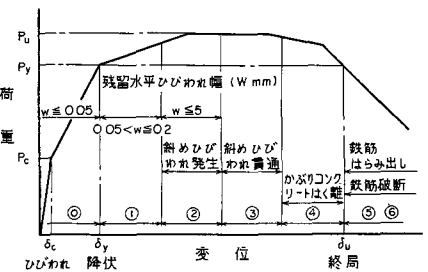


図-4 RC橋脚(躯体基部破壊橋脚)の変位履歴(損傷度)と損傷状況

表-2 RC橋脚(躯体基部破壊)の被災判定表(案)

観察される損傷	①	②	③	④	⑤	⑥
損傷	水平ひびわれのみ	斜めひびわれ(貫通せず)	斜めひびわれ貫通	かぶりコンクリートはく離	鉄筋はらみ出し	軸方向鉄筋破壊および躯体傾斜
状況	側面図					
	正面図					
	軸方向鉄筋比小の場合					
	正面図					
残留強度	$P_u$ ( $1.1P_y - 1.3P_y$ )	$P_u$ ( $1.1P_y - 1.3P_y$ )	$1.1P_y$	$1.0P_y$	$P_y$ 以下	$P_y$ 以下
残留変形性能 $\frac{\delta_u - \delta}{\delta_u - \delta_y} (\%)$	70%	50%	30%	10%	0%	0%
緊急措置の目安	交通規制	不要	不要	不要	不要 (損傷の進行が認められる場合は重量制限、車線減少等)	通行止
	措置工事	不要	不要	不要	不要 (損傷の進行が認められる場合は修復受け等)	修復受け等
復旧の目安	応急復旧工法	不要	不要	不要	樹筋注入 ハチ補修	※1 鉄筋取芯 ハチ補修
	本復旧工法	なし	樹筋注入 (ひびわれ幅0.2mm以上の場合は樹筋注入)	樹筋注入	樹筋注入 ハチ補修	RC巻立て

注1) この表と現場の状況または設計図より損傷が躯体基部に発生していることを確認できた場合に適用する。  
 $P_y$ : 降伏耐力,  $P_u$ : 終局耐力,  $\delta_y$ : 降伏変位,  $\delta_u$ : 終局変位,  $\delta$ : 最大変位

※1) 応急復旧工法がかりとなる場合には省略する。

工事および復旧工法の目安について、基本的事項を提示した。

なお、ここに示した判定方法は、建設省土木研究所からの委託により(財)国土開発技術研究センターに設立されている「震災復旧技術研究開発土木委員会」(岡本舜三委員長)の「橋梁構造物分科会」(伯野元彦分科会長)において審議・検討されているものであり、最終案は他の構造物を含めて、昭和60年度末に提案される予定となっている。ここに、岡本委員長、伯野分科会長を始めとする委員各位ならびに関係各位に対して深甚の謝意を表します。さらに実験・解析を担当した土木研究所耐震研究室の皆様にご感謝致します。

参考文献

- 1) 国土開発技術研究センター：震災構造物の復旧技術に関する報告書，昭和58年度(昭和59年3月)，昭和59年度(昭和60年3月)
- 2) 岩崎敏男，萩原良二，小山達彦：鉄筋コンクリート橋脚の動的耐力に関する実験的研究，第6回日本地震工学シンポジウム，昭和57年10月
- 3) 岩崎敏男，萩原良二：地震による鉄筋コンクリート橋脚の被災度の判定手法，土木技術資料27-2，昭和60年2月
- 4) 土木学会：コンクリート構造の限界状態設計法試案，コンクリートライブラリー第48号，昭和56年4月
- 5) 太田実，河田博之：鉄筋コンクリート橋脚モデルの繰返し載荷実験，土木学会第36回年次学術講演会講演概要集第5部，昭和56年10月

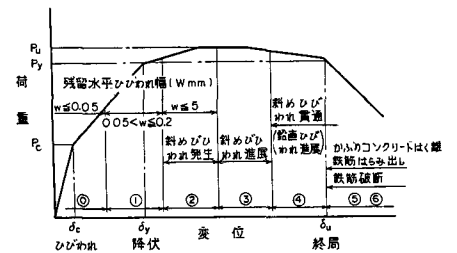


図-5 RC橋脚(軸方向鉄筋段落し部破壊)の変位履歴(損傷度)と損傷状況

表-3 RC橋脚(軸方向鉄筋段落し部破壊)の被災判定表(案)

観測される損傷	① 水平ひびわれのみ	② 斜めひびわれ(D/2以下)	③ 斜めひびわれ(D/2以上)	④ 斜めひびわれ貫通(鉛直ひびわれ進展)	⑤ かぶりコンクリートは離れ	⑥ 鉄筋はらみ出し
損傷面図						
残留強度	$P_u$ (1.05P <sub>y</sub> ~1.1P <sub>y</sub> )	$P_u$ (1.05P <sub>y</sub> ~1.1P <sub>y</sub> )	1.0P <sub>y</sub>	1.0P <sub>y</sub>	P <sub>y</sub> 以下	P <sub>y</sub> 以下
残留変形性能 $\delta_u - \delta_y$ (%) $\delta_u - \delta_y \times 100$	100%	70%	40%	10%	0%	0%
緊急措置の目安	不要	不要	不要 (損傷の進行が認められる場合は重量制限、車線減少等)	重量制限、車線減少等 (損傷の進行が認められる場合は通行止)	重量制限、車線減少等 (損傷の進行が認められる場合は通行止)	通行止
復旧の目安	不要	不要	不要 (損傷の進行が認められる場合は桁受け等)	不要 (損傷の進行が認められる場合は桁受け等)	不要 (損傷の進行が認められる場合は桁受け等)	桁受け等
応急復旧工法	不要	不要	不要	樹脂注入	樹脂注入 パテ補修	*2 樹脂注入 パテ補修
本表III 丁法	不要 (ひびわれ幅0.2mm以上の場合は樹脂注入)	樹脂注入	樹脂注入	RCを立て	RCを立て	RCを立て

注 \*1 ①は無傷  
\*2 応急復旧工法がかりとなる場合には省略する。