

洪水による鉄道橋コンクリート橋脚の倒壊危険度の評価方法に関する一考察

日本大学理工学部
大成建設（株）・技術センター
日本大学理工学部

正会員　○齊藤　準平
正会員　石野　和男
正会員　柳沼　善明

1. はじめに

近年、日本国内において、洪水による鉄道橋コンクリート橋脚の倒壊が発生している。鉄道橋の倒壊は長期間の路線の機能支障を生じさせ多くの利用者の生活を不便にするだけでなく、被害が甚大で工事費を調達出来ない地方の赤字路線を廃線に追い込んでいる。

近年の洪水で倒壊した鉄道橋のコンクリート橋脚は、洪水の流体力によって橋脚自体が構造的に破壊し倒壊するケースが多く、それらのほとんどは無筋コンクリートであった（鉄道の歴史が古い我が国には、供用後 100 年近く経過した同構造の橋脚が多く存在する¹⁾）。そのため、これら橋脚に対し早急に適切に維持・補修を施さなければ、洪水による橋梁の倒壊被害は増加すると考えられる。

しかし、ほとんどの橋脚のための防災診断は、主に橋脚が洗掘によって倒壊する危険性について重点的に調査・検討しており、洪水の流体力に対して構造的に橋脚が耐えうるかどうかの評価が十分にされているとは言い難い。また、構造的な調査が行われたとしても、倒壊の危険性が判断されるまで多くの詳細な調査過程と時間を要するのが現状で、倒壊危険度の高い橋脚への対処の遅れが懸念される。

そこで本研究は、鉄道橋コンクリート橋脚を対象に、洪水によって橋脚自体が構造的に破壊して倒壊する危険度を簡易的に評価する方法を検討した。

2. 本倒壊危険度評価方法の特徴

本倒壊危険度評価方法は、図-1 に示すように洪水を発生させる影響因子や橋脚性能に影響を及ぼす因子について、比較的簡単に情報収集可能で重要な因子にしぼり、各影響因子のグレードに応じたポイントを用いて洪水指数と橋脚指数を計算し、構造計算を用いずに橋脚倒壊危険度を簡易的に照査するものである。

(1) 洪水指数の計算方法

洪水指数は、1 日あたりの降水量が洪水に極めて大きく影響すると仮定し、各地域の年降水量（図-2）のグレード毎に設定したポイント(a)（表-1）を各地域の日降水量 1mm 以上の年間日数（図-3）のグレード毎のポイント(b)（表-2）で除して、0~1 になるよう計算するもので、洪水指数が大きくなると洪水能力は高くなる。

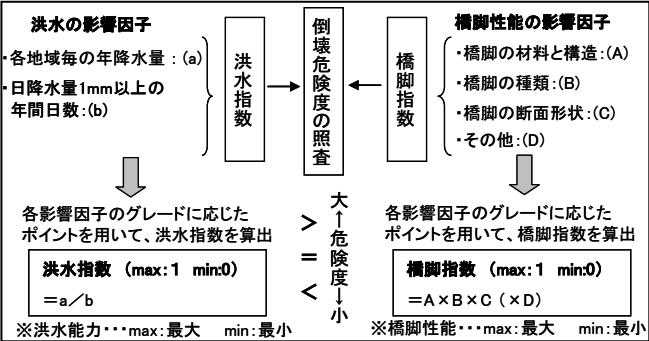


図-1 橋脚の倒壊危険度評価方法

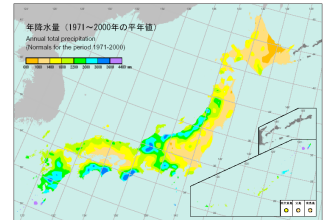


図-2 各地域の年降水量²⁾

表-1 年降水量のグレード		
グレード	年降水量平均値(mm)	ポイント
I	600以上～1000未満	20
II	1000以上～1400未満	30
III	1400以上～1800未満	40
IV	1800以上～2200未満	50
V	2200以上～2600未満	60
VI	2600以上～3000未満	70
VII	3000以上～3600未満	80
VIII	3600以上～4400未満	100

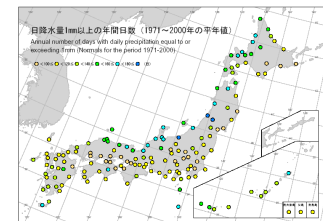


図-3 各地域の日降水量1mm以上の年間日数²⁾

表-2 日降水量 1mm 以上の年間日数のグレード		
グレード	日降水量1mm以上の年間日数平均値	ポイント
I	180日以上	200
II	160日以上～180日未満	170
III	140日以上～160日未満	150
IV	120日以上～140日未満	130
V	100日以上～120日未満	110
VI	100日未満	100

表-3 橋脚の材料と構造のグレード (A)

グレード	材料と構造	建設年の目安	ポイント
I	石造、レンガ造、無筋コンクリート造	1912年以前	0.1
II	鉄筋コンクリート造 (0%≦As<0.4%)	1913年～1930年	0.15
III	鉄筋コンクリート造 (0.4%≦As<0.8%)		0.25
IV	鉄筋コンクリート造 (0.8%≦As)	1931年以降	0.5

備考)ポイントは福井豪雨で倒壊した橋脚を対象とした FEM 解析³⁾により決定。
表中の As は軸方向鉄筋量で、コンクリート断面積に対する割合である。

表-4 橋脚の種類のグレード (B)

グレード	種類	構造の目安	ポイント
I	壁式、柱式	鉄筋コンクリート造	1
II	重力式	石、レンガ、無筋コンクリート造 一部の鉄筋コンクリート造	2

備考)ポイントは重力式橋脚の曲げ耐力が壁式、柱式より2倍程度と仮定して決定⁴⁾。

表-5 橋脚形状のグレード (C)			表-6 その他要因 (D)		
グレード	形状	ポイント	グレード	その他	ポイント
I	正方形、長方形	1	-	コールドジョイント・打継目(施工不良)	0.5
II	円型、ひし型	1.5	-	流木による閉塞	0.5
III	楕円形	2			

備考)ポイントは抗力係数⁵⁾により決定。備考)ポイントは応力計算⁶⁾により決定。

(2) 橋脚指数の影響因子と計算方法

橋脚指数は、橋脚性能の影響因子となる橋脚の材料と構造(A) (表-3)、橋脚の種類(B) (表-4)、橋脚の断面形状(C) (表-5) およびその他要因(D) (表-6) の各グレードに応じたポイントの積が 0~1 になるよう計算するもので、橋脚指数が大きくなるに従って橋脚性能(洪水への抵抗力)は高くなる。なお、橋脚性能の各影響因子のグレードに応じたポイントは、福井豪雨で倒壊した足羽川橋梁の橋脚の非線形 FEM 解析結果、応力計算結果および示方書等に基づき決定した。

3. 本倒壊危険度評価方法の妥当性の検証

近年の洪水による鉄道橋コンクリート橋脚の倒壊事例(表-7)を用いて、本評価方法の妥当性を検証した。

洪水指数の計算結果を表-8に示す。洪水指数と各災害の降水量観測地における過去の降水量(mm/日)の上位5データ(図-4)とを比較すると、洪水指数の高い災害順に各観測地の降水量が多くなる傾向が確認できた。

図-5に各災害の洪水指数と各タイプの橋脚指数との比較を示す。無筋コンクリート構造の橋脚は、すべての災害において橋脚の種類(B)や形状(C)の相違に関わらず、橋脚指数が洪水指数より小さい値となり、橋脚の倒壊危険度が高いと評価された。また、鉄筋コンクリート構造の橋脚の倒壊危険度については、その他要因(D)が影響しない場合は低いと評価され、その他要因(D)が影響する場合は高いと評価された。以上の評価結果は、実際に洪水で倒壊した橋脚の被害状況と一致する結果となった。

本評価法では、橋脚指数の算出に用いた橋脚性能の影響因子の各グレードに応じたポイントは、福井豪雨で倒壊した足羽川橋梁をモデルとして決定した。そこで、台風14号豪雨で倒壊した橋脚に対しても評価を行い、本評価法が橋脚倒壊率に対する定量的な危険度評価に適用可能かどうかを検討した。評価結果と実際の橋脚倒壊率の相関性を図-6に示す。近似式は福井豪雨と台風14号豪雨の評価結果から求めた。図-6より、橋脚倒壊率と評価結果の関係は、橋脚倒壊率における近似式と各評価の差が両図とも最大で約9%程度となり、よい相関が認められた。以上により、本評価法の洪水による橋脚倒壊の定量的な危険度評価への適用可能性が示されたといえる。

4. まとめ

- ① 本評価法による評価結果は実際に洪水で倒壊した橋脚の破壊現象と定性的に同様の傾向となった。
- ② 洪水指数と橋脚指数の評価結果と橋脚倒壊率との関係に、よい相関が認められた。

参考文献

- 1) 斉藤準平・石野和男・柳沼善明：洪水による鉄道橋コンクリート橋脚の倒壊と設計示方書の変遷，第49回日本大学工学部学術研究報告会講演要旨集，pp. 135-138，2006
- 2) 気象庁ホームページ：http://www.jma.go.jp
- 3) 斉藤準平・石野和男・柳沼善明：洪水による鉄道橋のコンクリート橋脚の倒壊に関する一考察，第34回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集(CD-R)，2007
- 4) 斉藤準平・石野和男・柳沼善明：洪水による鉄道橋コンクリート橋脚の倒壊に関する一考察，第50回日本大学理工学部学術講演会土木系部会概要集，pp. 668-669，2006
- 5) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，pp55-56，2004

表-7 鉄道橋コンクリート橋脚の倒壊事例⁴⁾

災害名	福井豪雨	台風23号豪雨	台風14号豪雨
災害発生日	2004年7月18日	2004年10月23日	2005年9月6日
被害地域	福井県 福井市	岐阜県 高山市、飛騨市	宮崎県 高千穂町、日之影町
降水量	累計:285mm(12h) 最大:87(mm/h)	累計:242mm(15h) 最大:57(mm/h)	累計:523mm(48h) 最大:45(mm/h)
被害路線	JR越美北線	JR高山本線	高千穂鉄道
橋梁 完成年	1960年(昭和35年)	1927年(昭和2年)~ 1934年(昭和9年)	1935年(昭和10年)~ 1937年(昭和12年)
全橋梁数	7(被害橋梁数5)	8(被害橋梁数4)	4(被害橋梁数2)
橋脚の 倒壊率	無筋(流木):44% (倒壊7/現存9) RC(流木):27% (倒壊4/現存11)	無筋のみ :把握出来ず	無筋(流木):67% (倒壊2/現存1) 無筋(打継目):50% (倒壊3/現存3) RC:0% (倒壊0/現存17)
その他	流木の影響あり	流木の影響あり	打継部破断橋脚有り
復旧	2007年6月30日	2007年9月7日	廃線(休止中)

表-8 洪水指数

災害名	洪水 指数	影響因子 の評価
福井豪雨	0.41	a: 70 (VI) b: 170 (II)
台風23号 豪雨	0.47	a: 70 (VI) b: 150 (III)
台風14号 豪雨	0.64	a: 70 (VI) b: 110 (V)

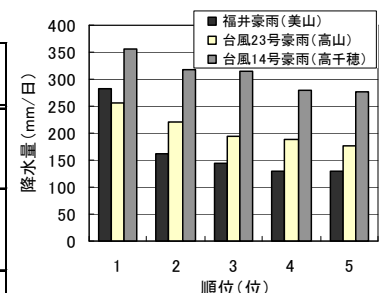


図-4 各災害の降水量観測地
降水量の上位5データ

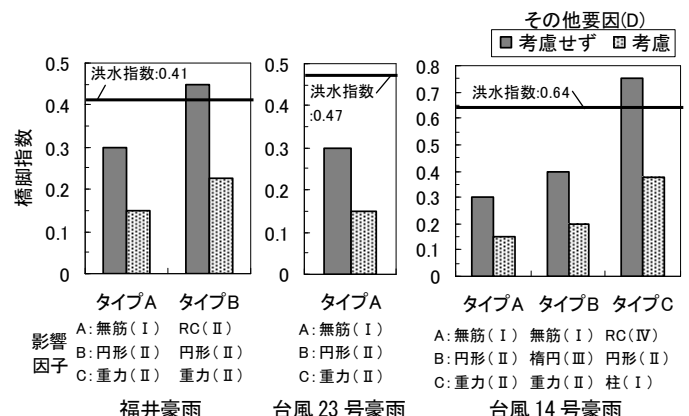


図-5 各災害の洪水指数と橋脚指数の比較

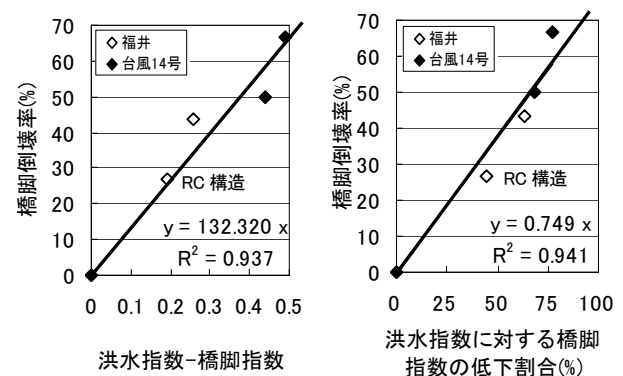


図-6 洪水指数と橋脚指数の評価結果と
実際の橋脚倒壊率との相関性