

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

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 ○斉藤 準平
正会員 石野 和男
正会員 柳沼 善明

1. はじめに

洪水によって生じる鉄道橋梁の被害は、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。洪水による橋梁の被害を最小限に抑えるためには、早急に倒壊の危険性の高い橋脚については補修・補強、取替え等の手段を講じ、倒壊の危険性の低い橋脚については維持・補修に努めることが必要と考えられる。そのためには、洪水による橋脚倒壊の危険性の評価を行わなければならない。そこで、本文では橋脚倒壊の事例による特徴と現存する鉄道橋脚の建設年や使用材料から、橋脚倒壊の危険性が高い条件を検討した。また、有限要素解析および流水の流体力の算出式を用いて橋脚倒壊の危険性を評価した。

2. 倒壊橋脚の事例による特徴および我が国の鉄道橋梁の建設年と使用材料

洪水による鉄道橋コンクリート橋脚倒壊の危険性の高い条件として、2004年7月の福井豪雨と2005年9月の台風14号豪雨の倒壊した橋脚の特徴から、主に①無筋コンクリート構造（鉄筋コンクリート以外の構造）、②コールドジョイント等の施工上の弱点部があるもの、③橋脚間に流木が閉塞しやすいスパン長や桁高のもの等が挙げられる。また、無筋コンクリート構造は橋脚自体が構造的に河底付近で曲げによって破断する傾向がある。

我が国の鉄道建設から1975年まで100年間で鉄道橋梁の建設年は明治37%、大正25%、昭和38%で、明治・大正時代の建設割合が6割と多い。また使用材料は、鉄道建設開始時は石やレンガが主で、その後無筋コンクリートが使われ始めた。鉄筋コンクリートは鉄道開通から40年経過した1912年に武庫川橋梁の橋脚に初めてが使われた。このように、我が国に多く現存する石造、レンガ造、無筋コンクリート造の橋脚および1912年以前のコンクリート製橋脚は、橋脚倒壊の危険性の高い条件と見なすことができる。

3. 洪水による橋脚倒壊の危険性の評価

評価対象の橋脚の建設年や使用材料が上述の橋脚倒壊の危険性の高い条件に該当した場合は、過去の洪水記録等と比較して橋脚の補強等の対策を検討するために、橋脚が倒壊すると考えられる流体力または水位と流速を計算する必要がある。

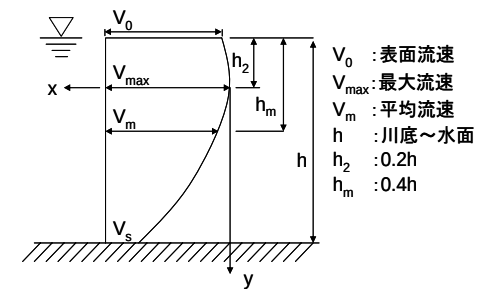
(1) 有限要素解析による橋脚倒壊時の最大耐力

橋脚に作用する流体力を解析するために、洪水の流体力の作用形態と作用位置を変化させたパラメータ（表－1）の有限要素解析を行い、橋脚倒壊時の破壊耐力を求めた。ケースⅠは流体力が集中荷重で0.5hに作用した場合、ケースⅡは河底～柱頭部間に流速が一様に働いた場合、ケースⅢはより現実的な流速分布を仮定し放物線状に流速が作用した場合（図－1）とした。

解析対象は福井豪雨で倒壊した橋脚（表－2）で、洪水の水面は橋脚柱頭部で、橋脚断面形状は正方形とした。解析には2次元非線形有限要素解析プログラム ATENA を用いた。

表－1 解析パラメータ

ケース	流体力の作用形態	作用位置
Ⅰ	集中	0.5h
Ⅱ	等分布	河底～柱頭部
Ⅲ	放物線状	河底～柱頭部



図－1 洪水の流速分布(ケースⅢ)

災害名	福井豪雨	台風14号豪雨	
橋脚の断面形状 および寸法	円形 直径 2 m	円形 直径 2.5 m	楕円形 幅 1m×長さ 2m
桁下～川底間の 平均距離 (h)	5.5 m	7 m	
コンクリートの 引張強度	2.06 N/mm ² 以上	1.91 N/mm ² 以上	
洪水の流速	10 m/sec		

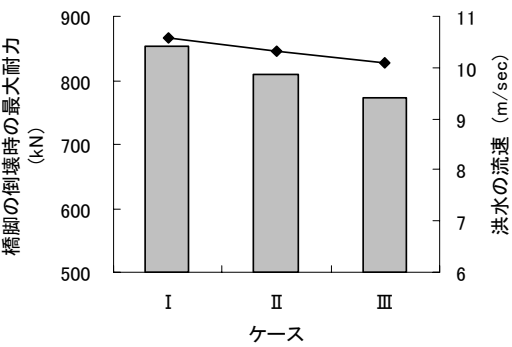
キーワード 鉄道橋、橋脚、倒壊、洪水、引張応力

連絡先 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 日本大学理工学部社会交通工学科 TEL 047-469-5345

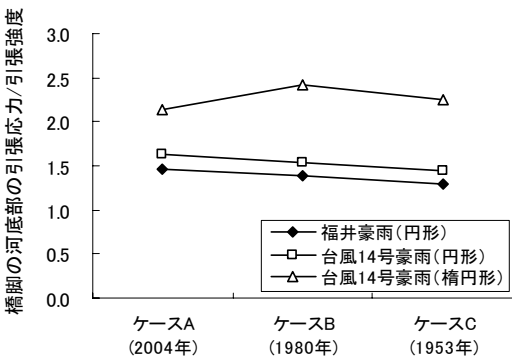
解析結果を図－2に示す。流体力が0.5hに作用したように換算した解析結果（ケースⅠ、Ⅱ、Ⅲ）から、橋脚倒壊時の最大耐力に及ぼす流体力の作用形態の相違の影響を比較すると、流体力を集中荷重とみなしたケースⅠの最大耐力が最も大きく、洪水の流速分布を現実に近い放物線状で解析したケースⅢの最大耐力が最も小さくなった。ケースⅢとケースⅡはケースⅠよりそれぞれ9.4%、4.3%小さくなり、流体力を集中荷重として解析すると最大耐力が過大評価される結果となった。図－2において洪水の流速をケースA（表－3）にて算出した結果、洪水の流速はすべてのケースで約10m/secとなり福井豪雨の洪水の最大流速の記録（10m/sec）とほぼ一致した。

（2）算出式による洪水の流体力

表－3に示す示方書等の流体力の算出式は、有限要素法と比較すると簡易的な計算方法である。年代の変化に伴って抗力係数等が変更されてきたため、表－2に示す近年の災害（福井豪雨、台風14号豪雨）で倒壊した無筋コンクリート橋脚の条件を用いて、各ケースの算出式で流体力を算出した。なお、洪水の水面は橋脚柱頭部とした。図－3は計算した橋脚の河底部上流側のコンクリートの曲げ引張応力をコンクリートの引張強度で除したものである。各ケースの洪水の流体力によって生じた橋脚河底部のコンクリートの引張応力は全てのケースで引張強度より大きくなり、橋脚が倒壊したことが計算によって確認できた。また、計算結果に年代の変化に伴う影響はほとんど認められず、各断面形状ともそれぞれ近い値に計算された。



図－2 解析結果



図－3 橋脚の河底部の引張応力／引張強度

表－3 示方書等における流体力の算出式一覧

ケース	年代	資料	式	式の説明	抗力係数 (橋脚断面形状による係数)					流体力の 作用位置	橋脚の模式図
					円形	楕円形 六角形	長方形	正方形	小判型		
A	現在 2004年 (平成16年)	鉄道構造物等 ²⁾ 設計標準・同解説 コンクリート構造物	$P=K \cdot A \cdot V_0^2$	P: 流体力の特性値(kN) K: 橋脚断面形状によって定まる係数 A: 流れ方向に射影した水深部の面積 (m ²) V ₀ : 表面流速(m/sec)=(V _m /0.85)	0.3	0.25	0.5	0.55	—	水深の 0.6倍	
B	約25年前 1980年 (昭和55年)	道路橋示方書 ³⁾	$P=K \cdot A \cdot V^2$	P: 流水圧(t) K: 橋脚断面形状によって定まる係数 A: 流れ方向に射影した水深部の面積 (m ²) V: 最大流速(m/sec)	0.04	0.04	0.07	0.07	0.02	水深の 0.6倍	
C	約50年前 1953年 (昭和28年)	橋台と橋脚 ⁴⁾ (河村協 著)	$P=\frac{K \cdot w \cdot A \cdot V^2}{2g}$	P: 流水の圧力(kg) k: 橋脚水平断面の形状による係数 w: 水の単位重量(kg/m ³) A: 流水の衝突する橋脚面積 (m ²) V: 流速(m/sec) g: 重力の加速度(=9.8) (m/sec ²)	0.73	—	1.33 ~ 1.47	1.47	—	—	

まとめ

- ①有限要素解析による洪水の流体力に対する橋脚の最大耐力は、流速分布を現実に近い放物線状で解析した場合は最も小さく、流体力を集中荷重として解析した場合は最も大きくなり過大に計算される結果となった。
- ②有限要素解析での計算結果は、実際の洪水の最大流速とほぼ一致した。
- ③洪水の流体力の算出式を用いて洪水時の水位と流速から流体力を計算した結果、コンクリートの引張強度より大きくなり、橋脚が倒壊したことが計算によって確認できた。

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) 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, pp.55-56, 2004 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, pp.37-40, 1980 4) 河村協: 橋台と橋脚, 理工図書, pp.188-189, 1953