

2004年以降に日本で発生した豪雨による橋梁の倒壊要因と対策

A collapse factor and the measures of the bridge by the heavy rain that occurred in Japan after 2004

石野和男*, 玉井信行**

Kazuo Ishino, Nobuyuki Tamai

*工博,大成建設㈱主事, 技術センター土木技術研究所 (〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1)

** 工博,金沢学院大学教授, 大学院経営情報学研究科 (〒920-1392 金沢市末町 10)

The main cause of the collapse of the bridge by the flood was caused by scour of the pier, and it was thought that it was to rarely occur. However, a shocking case that five bridges were blown down occurred by the Fukui flood of July, 2004. By this report, we show the collapse situation every classification and a collapse factor and the measures in the construction generation of the bridge which collapsed by the heavy rain that occurred in Japan after July, 2004.

Key Words: heavy rain, bridge, damage, river, collapse factor, measures

キーワード: 豪雨, 橋梁, 被害, 河川, 倒壊要因, 対策

1. はじめに

洪水による橋梁の倒壊の主原因は、橋脚・橋台基礎の洗掘に起因するものが主であり、稀に発生することであると考えられていた。しかし、2004年7月の福井水害では5つの橋梁がなぎ倒されるという衝撃的な事件が生じた。本報告では、2004年7月以降に日本で発生した、2004年7月福井県足羽川豪雨¹⁾、2004年10月岐阜県宮川豪雨²⁾、2005年9月宮崎県五ヶ瀬川・耳川豪雨^{3), 4)}、2006年7月鹿児島県川内川豪雨⁵⁾、2007年9月東京都多摩川豪雨^{6), 7)}、2009年7月兵庫県佐用川豪雨⁵⁾等により倒壊した橋梁の建設年代、種別毎の倒壊状況と倒壊要因およびその健全度検討方法と対策⁸⁾を取りまとめる。

2. 谷底河川における洪水による橋梁の倒壊要因と倒壊状況

2004年後、毎年のように洪水により各地の橋梁が倒壊している。その主な倒壊場所として、谷底河川が挙げられる。山間部の谷底河川においては、桁に流水が作用する現象が頻発し、橋脚や橋桁が倒壊・流出する状況が見られる。図-1に示すように、基本的に橋梁設計時においては、河川水位が桁にまで達する状況を外力条件として想定していないので、構造物の耐力毎に、基礎の岩盤からの剥がれ、橋脚コンクリートの折損、桁の流出等に代表される倒壊状況が見られる。

3. 橋梁の建設年代・種別・耐力毎の倒壊・非倒壊要因のまとめ

- 1) 太平洋戦争中に建設された橋脚には、無筋コンクリート製のものがあり、橋脚の折損倒壊が見られた。(図-2¹⁾, 3¹⁾ 参照)
- 2) また、無筋コンクリート製橋脚の打ち継ぎ目における剥れ倒壊が見られた。(図-4³⁾ 参照)
- 3) 太平洋戦争前の鉄筋コンクリート橋脚でも、岩着面積が少なく、コンクリートと岩の接合部の剥がれ倒壊が見られた。(図-5¹⁾ 参照)
- 4) 太平洋戦争後のトラス橋でも、新耐震設計指針前のものは、支承のボルトの耐力が少なくボルトが折損して流出した。(図-6⁴⁾ 参照)
- 5) 新耐震設計指針を用いたトラス橋は、支承のボルトの耐力が高く流出の可能性が低い。(図-7⁴⁾ 参照)
- 6) 合成桁橋は、自重が軽いので支承のボルトがコンクリート橋に比べて細く、新耐震後のものでも流出の可能性が高い。(図-8³⁾ 参照)
- 7) コンクリート桁橋は、自重が重いので、新耐震前のものでも流出の可能性が低い。(図-9⁸⁾ 参照)
- 8) 吊り橋は、自重が軽く耐力が少ないので、新耐震後のものでも流出の可能性が高い。(図-10⁵⁾ 参照)
- 9) 乗り越えた洪水の水圧により永久変形したと推定された鋼製歩道橋の桁が見られた。(図-11^{5), 9)} 参照)
- 10) 乗り越えた洪水により永久変形・流出したコンクリート製歩道橋の鋼製欄干が見られた。(図-12⁹⁾ 参照)

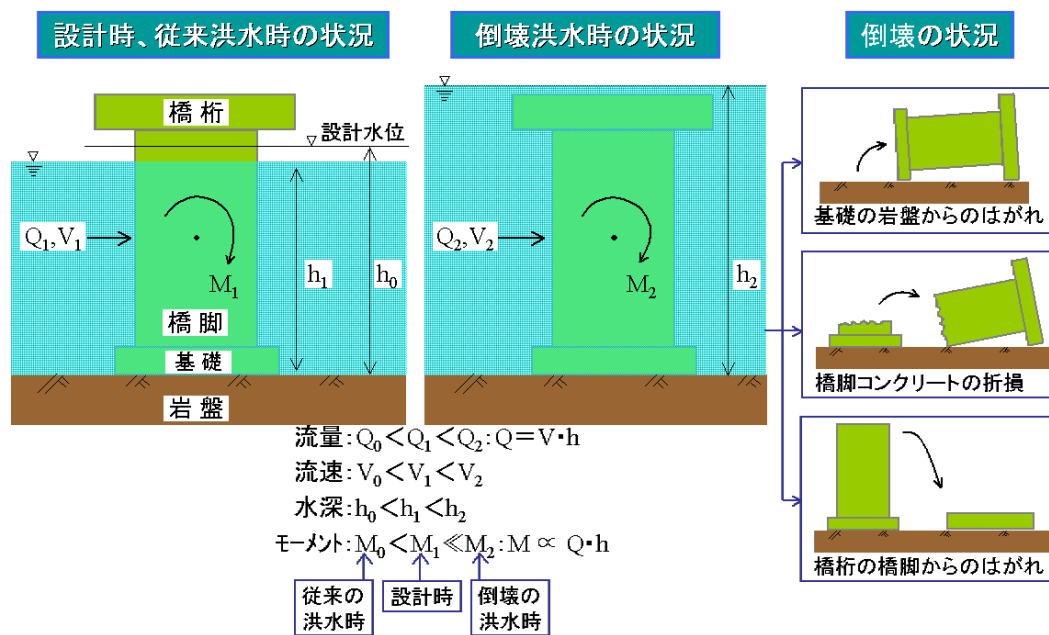


図-1 谷底河川における洪水による橋梁の倒壊要因と倒壊状況⁸⁾



図-2 福井水害において洪水に水没する橋桁¹⁾



図-3 福井水害において折損した橋脚¹⁾



図-4 宮崎水害において打ち継ぎ目が割れた橋脚³⁾



図-5 福井水害において岩着部が剥れた橋脚¹⁾



図-6 宮崎水害において支点ボルトが折損した新耐震設計指針前トラス橋⁴⁾



図-7 宮崎水害において桁に流水・流木が作用したが耐えた新トラス橋⁴⁾



図-8 宮崎水害において流出した合成桁³⁾



図-9 福井水害において流水・流木に耐えたコンクリート桁⁸⁾



図-10 宮崎水害において損傷した吊り橋⁵⁾



図-11 兵庫水害において変形した鋼製歩道橋桁^{5), 9)}

11) 橋梁自体の倒壊ではないが、桁下における流木の堆積に起因した左右岸の溢水による災害が見られた。(図-13¹⁰⁾ 参照)

4. 橋梁の健全度検討フロー

3.に示した橋梁の建設年代・種別・耐力毎の倒壊・非倒壊要因を基にした橋梁の健全度検討フローを、図-14に示す。



図-12 兵庫水害において変形したコンクリート桁の鋼製欄干⁹⁾



図-13 愛媛水害において流木が堆積し左右岸の溢水災害¹⁰⁾

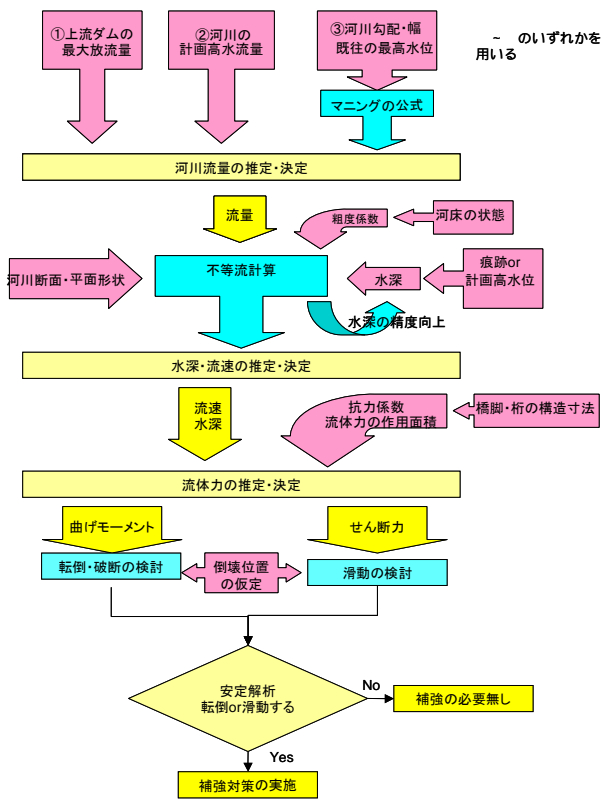


図-14 橋梁の健全度検討フロー⁸⁾

5. 道路合成桁に作用する流体力算定方法

4.に示すように、橋梁の健全度を検討するためには、橋脚および桁に作用する流体力を求める必要がある。本研究では、図-2に示す鉄道プレートガーダ桁、図-7に示す道路トラス桁、図-8に示す道路合成桁に作用する流体力を模型実験を用いて求めている。

ここでは、道路合成桁に作用する流体力に関する模型実験結果を示す。橋桁に作用する流体力 F_x は(1)式で定義し、実験により C_D した。

$$F_x = w \cdot C_D \cdot (V^2/2g) \cdot A \quad \text{----- (1)}$$

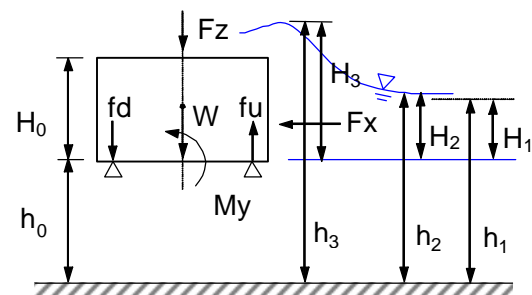


図-15 桁に作用する各外力の方向と桁前方水面の定義⁸⁾

ここで、 w は水の単位体積重量、 C_D は橋桁の抗力係数、 V は断面平均流速、 g は重力加速度、 A は流体の作用面積である。

図-15に桁に作用する各外力の方向と桁前方の水面の定義を示す。ここで、 W は橋梁の自重である。橋梁に作用する流体力は、水平力 F_x 、鉛直力 F_z 、これら力に起因するモーメントは、 My である。これらの流体力の作用により支承ボルトには、 F_x による水平（せん断）力と、 F_x 、 F_z 、 My と自重 W による鉛直力 fu 、 fd が作用する。また、 h_1 は橋桁を設置しない状態での橋桁の背き上げの影響が無い状態での水深、 h_2 は橋桁を設置した状態での桁上流面から1mの位置の橋桁の背き上げの影響がある状態での水深、 h_3 は橋桁を設置した状態での橋桁前面水深である。さらに、 H_i は、それぞれの状態の桁下と水面の距離である。

本研究では、 h_2 の諸元を用いて、 C_{a2} ：橋桁の抗力係数等を算出している。

以下に、流体力の算出手順を示す。

- 1) 架橋地点における水深 h_1 ・流速 V ・河川勾配 i の算出
- 2) h_0 ：桁の下面と水底の距離、 H_0 ：桁の高さ、 W ：桁の自重の算出
- 3) 図-16の実験値「 $h_1/h_0 \sim h_2/h_0$ 」を用いた h_2 、図-17の実験値「 $H_1/H_0 \sim H_2/H_0$ 」を用

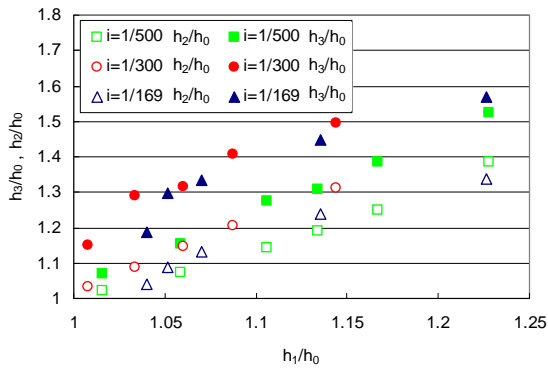


図-16 実験値「 $h_1/h_0 \sim h_2/h_0$ 」の関係⁸⁾

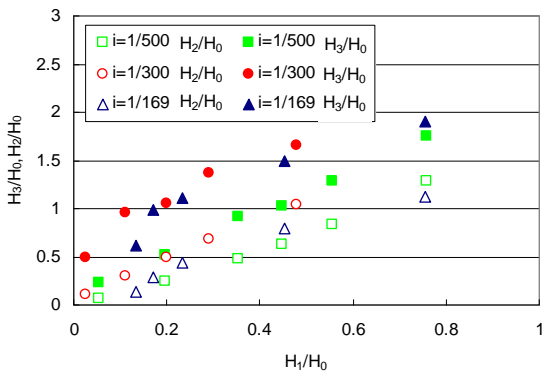


図-17 実験値「 $H_1/H_0 \sim H_2/H_0$ 」の関係⁸⁾

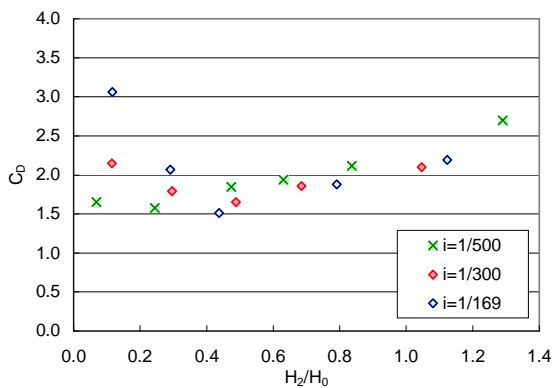


図-18 実験値「 $H_1/H_0 \sim C_D$ 」の関係⁸⁾

いた H_2 の算出。

4) 図-18の実験値「 $H_1/H_0 \sim C_D$ 」を用いた C_D の算出。

これらの値と式(1)を用いて F_x を算出する。

ここで、道路合成桁橋では、自重を越える f_u 、 f_d は発生しない。このことから道路合成桁橋では、水平流体力に対する支承ボルトのせん断抵抗を評価することになる。したがって、道路合成桁橋では、 f_u 、 f_d の諸元を示さない。

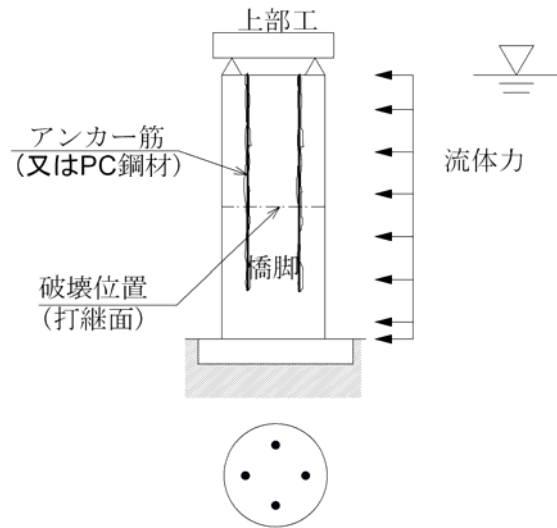


図-19 に無筋橋脚の打ち継ぎ目の補強方法の一例⁸⁾

6. 河川橋梁被害の対策

河川橋梁被害の対策は、大別して河川側と橋梁側の対策に区分される。

河川の対策は、災害により引き上げられる計画高水流量を流下可能にするために、流水断面積を広げる目的で、

- 1.1) 堤防を堤内地側に移動させて河川幅を広げる引堤
- 1.2) 堤防の高さを増加させる嵩上げ
- 1.3) 堤内地側にバイパスの水路を構築する
- 1.4) 河底を掘削する河床掘削

等に区分される。

一方、橋梁側の対策としては、

計画高水位と桁下のクリアランスを確保するための対策が挙げられる。

この対策方法としては、

- 2.1) 支点部分を嵩上げする方法
- 2.2) 上路桁を下路桁にする、または、プレートガーダー橋をトラス橋に変更し桁高を下げる方法等に分けられる。
- 2.3) なお、河川の断面積を阻害する橋脚の面積を減ずることを目的に、トラス橋に変更する案は、橋長を増加させて橋脚の本数を減ずる効果も期待される。

一方、橋梁自体の対策の対策としては、

- 3.1) 支承部のボルト等レベルアップ
- 3.2) 耐震補強で用いられる落橋防止壁の増設
- 3.3) 以下に示す無筋橋脚の打ち継ぎ目の補強および橋脚の転倒および洗掘対策に区分される。

図-19 に無筋橋脚の打ち継ぎ目の補強方法の一例を、図-20 に橋脚の転倒および洗掘対策の一例を示す。これらの対策を行う上で、河川の断面積を阻害することを防止するために、橋脚の幅を増加さないこと、および、河床上にブロック等を積み増さないことに留意する必要がある。

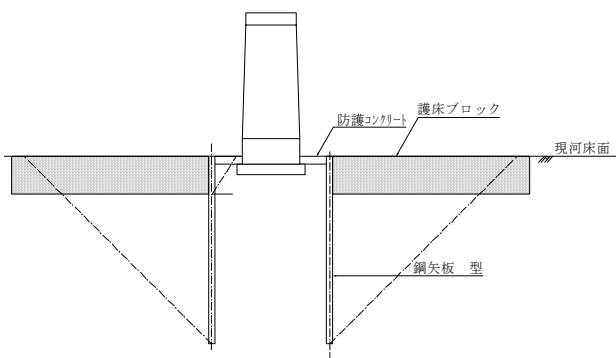


図-20 橋脚の転倒および洗掘対策の一例⁸⁾

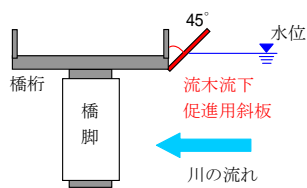


図-21 流木流下促進用斜板¹¹⁾

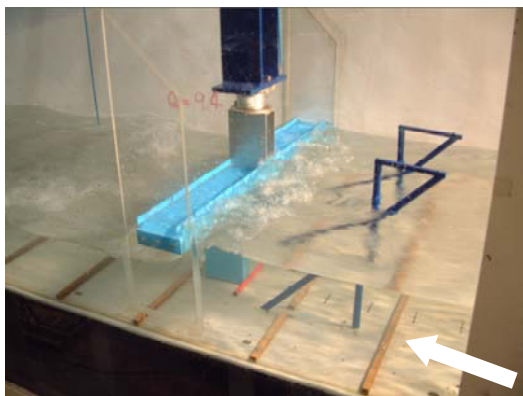


図-22 伝統的流木避けを改良した流木流下促進用杭¹²⁾

さらに、渡邊ら¹⁰⁾によると、図-13に示した桁下のように河川の断面積を大幅に減少させるような流木の堆積現象は、桁下と河床との高さが3m以下であると発生することが求められている。この対策としては、支承ごと桁を上げる対策が必要である。

なお、本研究で開発した桁への流木の乗り越しを防止する対策を、図-21¹¹⁾、22¹²⁾に示す。なお、これらの効果に関する実験結果は、紙数の都合上、割愛した。詳細は、参考文献を参照願いたい。

7. まとめ

2004年以降、毎年のように発生する河川橋梁被害を調査し、その要因と健全度調査方法、対策等を検討してきた。

2004年7月福井県足羽川豪雨による橋梁被害に対しては、堤防の引堤、河床掘削と橋梁と橋脚の形式変更を伴う新設等が行われている。

しかし、河川橋梁被害の洪水前の事前対策の実施は見当たらない。2003年の北海道水害および2004年の愛媛水害では、河川橋梁部で尊い命が失われている。これらを防止するために、事前対策が実施されることが望まれる。

参考文献

- 1) 石野和男, 榎田真也, 玉井信行: 2004年福井水害における鉄道橋梁の被害原因の調査解析と今後の長寿命化方策の検討, 河川技術論文集第11巻, pp157-162, 2005
- 2) 澤田尚夫, 渡瀬久, 中村格之, 石野和男: 2004年豪雨によるJR高山本線橋梁被害解析に基づく無筋橋脚の健全度評価手法, 第63回土木学会年次学術講演会講演集, 4-328, 2007
- 3) 石野和男, バンダラナワラトナ, 橋丸大史, 玉井信行: 集中豪雨による橋梁の被災原因調査解析と対策工, 大成建設技術センター報第39号, pp04.1-6, 2006年
- 4) 石野和男, 渡邊亮史, 玉井信行: 洪水時に道路トラス橋梁に作用する流体力に関する研究, 水工学論文集第52巻, 2008
- 5) 石野和男: 近年の洪水による橋梁被害の特徴と平成21年台風9号による橋梁被害調査の中間報告, 平成21年台風9号による災害調査団合同報告会, 土木学会関西支部・地盤工学会関西支部, 2009
- 6) 石野和男: 多摩川における橋梁の被害状況, 平成19年台風9号出水の調査と今後の河川維持管理のあり方に関する調査研究, 土木学会水工学委員会, 2008
- 7) 石野和男, 榎田真也, 前野詩朗, 玉井信行: 礫床河川において洪水中に発生した橋脚の沈下原因の究明および対策工の研究, 水工学論文集, 第54巻, 2010
- 8) 玉井信行, 石野和男, 榎田真也, 渡邊康玄: 豪雨による河川橋梁災害に関する現地調査, 被災原因解明, 対策工立案の研究, 平成17年度~平成19年度河川整備基金助成事業最終報告書, 2008
- 9) 石野和男, 渡邊亮史: 2009年兵庫県で発生した洪水による橋梁被害の特徴, 第66回土木学会年次学術講演会講演集, 4-328, 2010
- 10) 渡邊政広他: 愛媛県東予地方の台風21号による流木・洪水はらん災害について, 2004年愛媛県下における自然災害学術調査報告書, 平成17年3月7日
- 11) 石野和男・渡邊亮史・安西真樹: 橋桁への流木乗り越し防止装置, 第62回土木学会年次学術講演会, 2007.9
- 12) 石野和男: 流木避けとその現在の橋梁への適用可能性, 流木と災害, 技報堂出版河川環境管理財団企画, pp194-195, 2006

(2010年8月6日受付)