

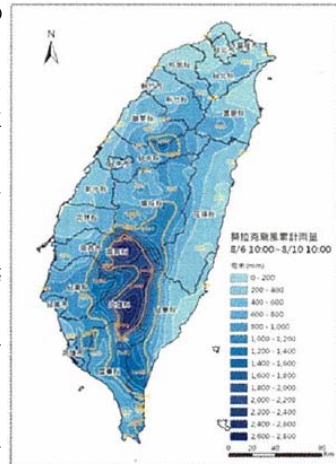
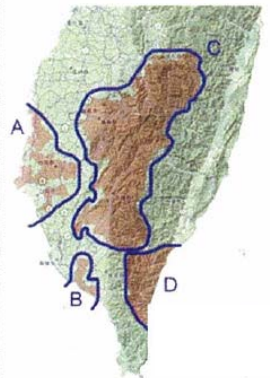
2009 年台風 8 号豪雨による台湾南部洪水の落橋被害の一考察

日本大学理工学部 正会員 後藤 浩
 大成建設株式会社 正会員 石野 和男
 日本大学理工学部 フェロー 大津 岩夫

〇はじめに 2009 年の台風 8 号（台風名：Morakot）は、8 月 7 日の深夜に台湾北東部に上陸後、台湾を横断し、8 月 8 日の 14 時頃に海上に抜けた。その結果、7 日から 9 日にかけて、3 日間雨量が 3000mm 弱と世界記録に匹敵する豪雨をもたらした。図 1 に 8 月 6 日の 10:00 から 8 月 10 日の 10:00 までの積算雨量分布を示す。この豪雨により、中南部を中心として土砂災害や豪雨災害が発生し甚大な被害をもたらした。図 2 に大まかな被災の地域を示す。前報¹⁾では、図 2 の B、C の地域での主として洪水流による橋梁被害の特徴を示し、日本国内での洪水による橋梁被害との比較を行った。そして、その中でも特徴的な橋梁の被害例の一つとして波状跳水の発生によって、その波峰が吊り橋の桁に作用して流出した橋梁について被害要因を指摘した。

そこで、本報告では、このような落橋の被災事例については日本においても起きる可能性が十分あることから、再度詳細に分析し、その考察を行った。

〇被災の状況 波状跳水が発生した場所は、図 3 右側に示す高雄県甲仙郷の旗山（Cishan）溪で、今回被災の起きた橋梁上流に頭首工が設置されている。また、図 4 は、住民が洪水の様子を撮影したビデオのコマ撮りを合成したものである。さらに、図 5 は落橋した状況を示した後日の写真である。図 4 に示されるように、水面に凹凸が生じ、その凹凸は 3 波目まで識別できる。そして、2 波目の峰部が吊り橋の桁に衝突したことにより流失したことが判別できる。上流側には図 3 に示す写真のように頭首工が設置されており、その頭首工が低落差構造物となって、その直下

図 1 積算雨量分布¹⁾

A,B: 氾濫災害 C,D: 土砂災害

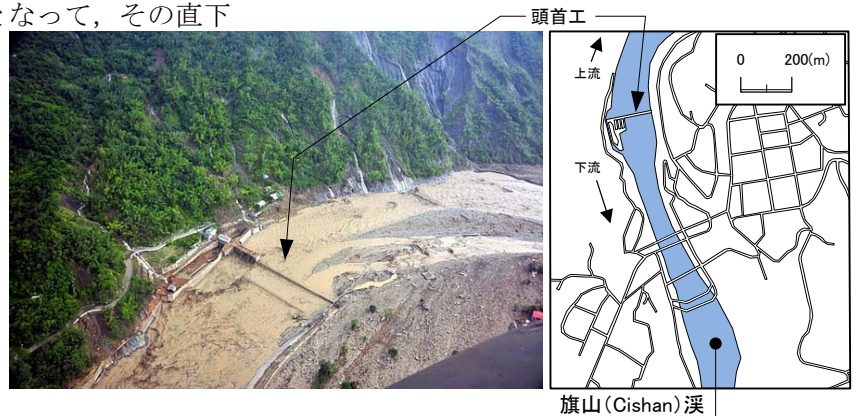
図 2 被災状況の概要¹⁾

図 3 旗山溪の流れる高雄県甲仙郷と橋梁被害上流に設置された頭首工（河川内の下から 2 本目が落橋したつり橋）

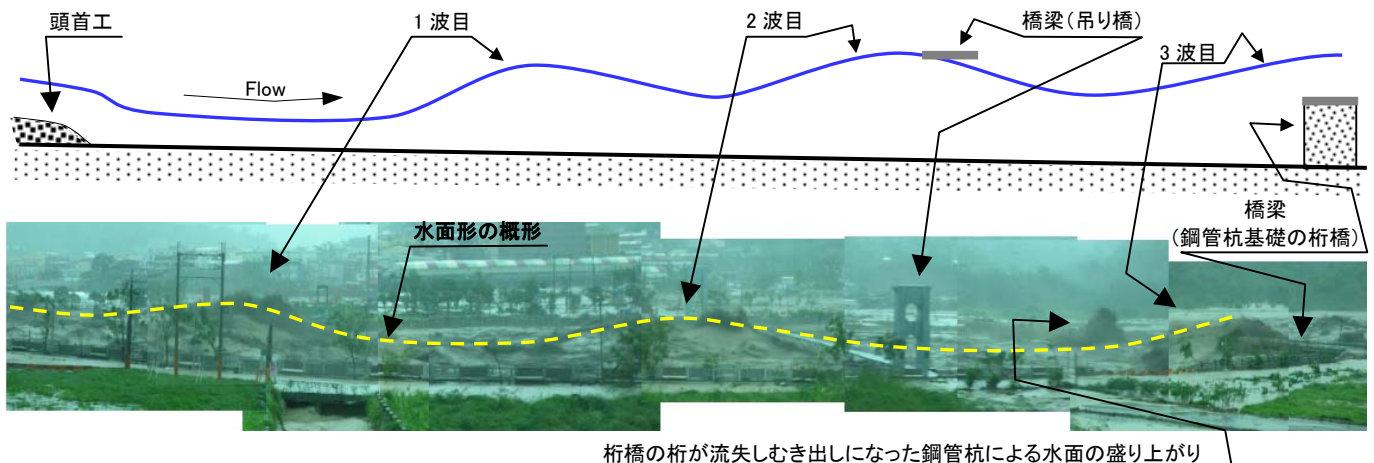


図 4 ビデオ撮影された旗山溪における洪水流（波状跳水）の様子

キーワード：台湾，洪水，台風 8 号，橋梁被害，波状跳水

連絡先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター土木技術研究所 TEL.045-814-7234

○現地で起きた現象と従来の研究結果との比較検証 従来, 系統的な検討のもと, 長方形断面水路および台形断面水路における波状跳水の流況とその諸特性が明らかにされている^{2)~4)}. 波状跳水の流況については, レイノルズ数が無視できる規模の流れでは, 射流のフルード数と水路断面形, 水路勾配の変化によって違いが認められるようになる. この場合, 現地の被災写真等により河岸側壁に勾配があることが認められるため, 台形断面水路における波状跳水と想定して説明を行う.

現地の被災写真等により, 水路断面形は側壁勾配 $1:m$ の m 値が $1.5 \sim 2$ 程度と推察される. 現地航空写真より, 現地河川の河川幅は 70m 程度となるため, 水面の凹凸が生じる上流での射流水深 h_1 を 3m 程度と見積もれば, 水路幅 b と h_1 との比であるアスペクト比 b/h_1 が 23 程度と考えられる. 河床勾配については, 周囲が市街地であることと現地地図を参考にすれば, 緩勾配であろうことが推測できるが, ここでは水平として考える. ビデオによれば流れの流速 V (水面の漂流物の速度をもとに試算) は $7 \sim 8\text{m/s}$ となるため, 射流のフルード数は $1.3 \sim 1.5$ と推算される [$F_1 = V_1 / (gD_1)^{1/2}$; F_1 : 跳水始端水深, g : 重力加速度, D_1 : 水理水深]. 従来の台形断面水路における波状跳水に関する研究³⁾で, その流況は図7のように分類され, その形成範囲も明らかにされている (F_{1A} : 1波目山頂部の水面が碎波しない対称な波状跳水が形成される上限のフルード数). 上述の条件と各流況の形成範囲とを比較すれば, 流況は図7の Type B-I に対応する. この流況の場合, 従来の研究の結果³⁾に基づけば, 1

波目の波峰水深は, $3.9 \sim 4.6\text{m}$, 波長は約 35m と計算される. 一方, 現地で形成された現象の波状水面1波目の水深および波長について, 図4に示される河川に沿って設置されている高欄の高さを参考にして見積もれば, 山頂部の水深は約 4m , 波長は約 35m となり, ほぼ研究結果と対応する. なお, 橋梁に衝突しているのは2波目山頂部であるが, この流況の場合, 山頂部の水深が流下方向に徐々に大きくなる特性を持った流況であり, 室内実験での結果によれば, 2波目山頂部の水深は, 1波目山頂部の水深の約 1.1 倍程度大きくなる. この知見と図4より見積もられた結果とを照らし合わせてみても, 従来の研究結果との対応が認められる. このように, 現地における現象は, 従来の台形断面水路における波状跳水の研究結果により説明することができる.

今後, 頭首工などの低落差構造物と橋梁などの堰上げ効果をもたらす構造物群との位置関係, 地形条件 (勾配や水路断面形など) によっては日本国内でも発生することが考えられるため, 設計においては波状跳水の形成に留意することが望ましい.

○まとめ 本研究では 2009 年に旗山溪における洪水で落橋被害の原因が波状跳水であったことを示した. 特に, 波状跳水が上流にある頭首工によって形成された射流と下流にある橋梁によって堰上げられた常流への遷移によって形成されたことを指摘し, 波状跳水の波峰山頂部が橋梁に接触したことによって落橋に至ったことを説明した. また, 過去の波状跳水の研究成果と照らし合わせ, 実際の現象と対応することを示した. 今後, 日本国内においても, 波状跳水が原因となる落橋被害が懸念されるため, 設計上考慮することが望ましいことを指摘した.

参考文献

- 1) 石野 和男: 2009 年台風 8 号豪雨による台湾南部の橋梁被害の特徴と日本の被害状況等との比較 (CS4-001), 土木学会全国大会第 65 回年次学術講演会講演概要集, CD-ROM, 2010. 2) Ohtsu, I., Yasuda, Y. and Gotoh, H., Flow conditions of undular hydraulic jumps in horizontal rectangular channels, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 129(12), pp.948~955, 2003. 3) 後藤 浩, 安田 陽一, 大津 岩夫: 台形断面水路における波状跳水の流況特性, *水工学論文集*, 土木学会, Vol.47, pp.493-498, 2003. 4) 後藤 浩, 安田 陽一, 大津 岩夫: 波状跳水の流況特性に対する水路勾配の影響, *応用力学論文集*, 土木学会, Vol.7, pp.953-960, 2004.



図5 落橋した吊り橋の洪水後の状況

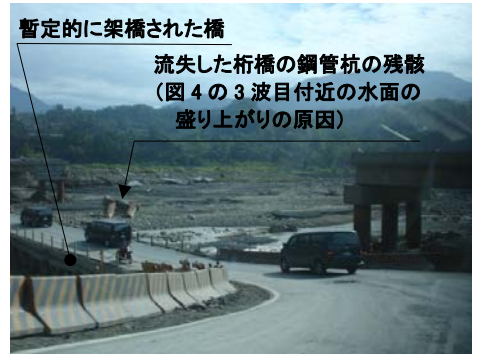


図6 桁橋の後日の状況

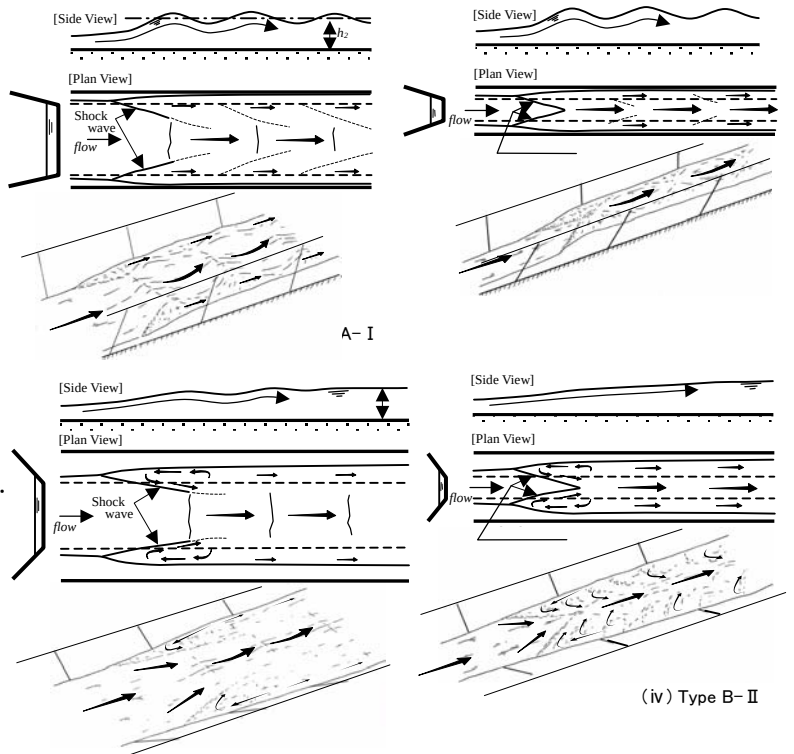


図7 波状跳水の流況区分 [$1.2 < F_1 \leq F_{1A}$]³⁾