

流れの中で橋梁に作用する津波流体力の検討

コンクリート研究室 工藤 進平
 主指導教員 下村 匠 教授

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震による橋梁の流失は、救助や支援のための交通に大きな支障をきたした。今後起こると予想される東海・東南海・南海地震においても同様の問題が発生することが懸念されている。本研究では、段波通過後の流れの中で橋梁に作用する揚力による流失被害に着目し、実際の被害橋梁の諸元を用いて水理模型実験および3次元流体解析を行い、流れの中における揚力発生メカニズムの検討および作用する流体力の分析を行った。そして、流れの中で橋梁に作用する揚力のモデル化を行い、揚力の影響を考慮した橋桁移動の有無を判別するための津波被害予測式を提案し、東日本大震災の被災状況による提案式の検証を行った。

2. 解析概要

2.1 解析方法

流体解析には、CADMAS-SURF/3Dを用いた。また、流失被害橋梁のうち、岸に近く陸上遡上などの影響が比較的少ないと考えられた岩手県の広内橋を対象橋梁と設定した。橋梁の概要を表-1に、断面図を図-1に示す。

解析領域と橋桁モデルの位置を図-2に示す。水路長さは100m、高さは20mとしてそれぞれ0.1m幅で格子の分割を行った。奥行きは1要素(0.1m)として2次元解析とした。橋桁は現況と同様に、地面から桁下までの高さが1.6mとなる位置に配置した。本解析では初期水位を与え、橋桁を完全に浸水させたうえで、図-2の左端から一定流速の流れを与えている。また、水位上昇を伴う流れとするため、図-2に示す流入流速V1よりも流出流速V2の値を小さくすることで、水位を上昇させた。流入流速V1と流出流速V2の比率を変化させることで、水位上昇速度と流速も調整して解析を行った。この他にも、橋桁形状をパラメータ(図-3)とした解析も行った。

2.2 解析結果

図-4に流入流速と揚力の関係を水位上昇速度の違いも含めてプロットした図を示す。また、図-5に流速4.0m/sにおいて桁幅と揚力の関係を示した図を示す。これらのグラフから、揚力は流速および桁幅の増加に従って線形的に増加し、水位上昇速度はほぼ影響していないということがわかる。さらに、流速5.0m/sにおいて、橋桁の高さを1.6mから6.0mとして計算を行った場合の橋面からの水位と揚力の関係を示した図を図-6に示す。この図から、揚力は橋面からの水位の上昇に伴い増加し、およそ9.0mとなれば、それ以降は揚力の増加傾向が無くなり、安定化することがわかる。

3. 揚力のモデル化

揚力は、広内橋の形状を基本としたパラメトリックスタディーを行った結果を用い、最小二乗法を用いて揚力係数 C_l を求め、流速および桁幅をパラメータとした簡易的な式を作成した上で算出することとした。流速と揚力の関係および、桁幅と揚力の関係をもとに作成した簡易的な式を式(1)に示す

$$L = v \times B \times C_l \quad \text{式(1)}$$

ここに、 L : 揚力(桁長さ0.1mあたり) [kN], v : 流速[m/s], B : 桁幅[m], C_l : 揚力係数(=0.4523)である。

また、揚力と水位の関係においては、図-6に示した橋面からの水位と揚力の関係を例として、浸水直後の負の揚力を、既往の研究である渡邊らの実験式を用いることと

表-1 広内橋の概要

名称	広内橋
設置場所	岩手県九戸郡野田村
架設年	1992年
形式	PCT4主桁
橋長	28.5m
桁長	28.4m
桁幅	8.2m
桁重量	4300kN
落下防止装置	アンカーバー
斜角	90°

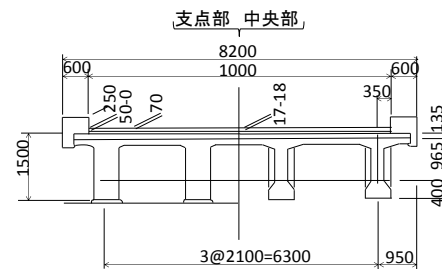


図-1 広内橋の断面図

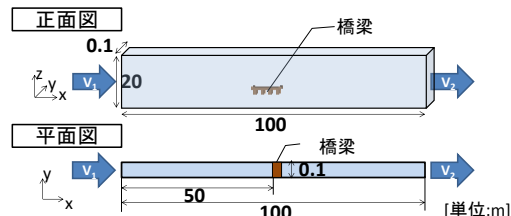


図-2 計算領域と橋桁モデルの位置

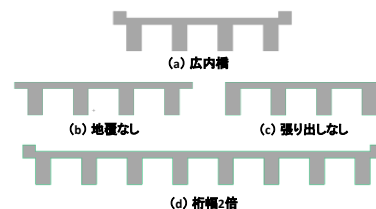


図-3 橋桁形状の種類

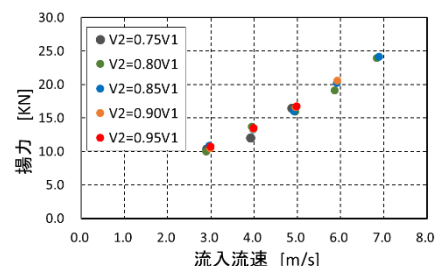


図-4 流入流速—揚力関係

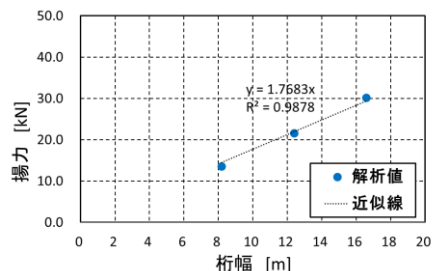


図-5 桁幅—揚力関係

し、式(1)で得られる揚力安定化後の値と線形補完を行うこととした。渡邊らの揚力算出式を式(2)に示す。

$$L = \frac{1}{2} \rho_w C_l v^2 A \quad \text{式(2)}$$

$$C_l = \begin{cases} (Fr > 0.42 \text{ の場合}) \\ -2.6Fr + 0.592 \\ (0 \leq Fr \leq 0.42 \text{ の場合}) \\ -0.5 \end{cases}$$

ここに、 ρ_w ：水の密度(1030kg/m³)、 A ：投影面積[m²]、 Fr ：フルード数である。水位を考慮した揚力の算出方法を示した概要図を図-7に示す。なお、 L ：全揚力、 L_1 ：渡邊らの式による負の揚力、 L_2 ：本研究で提案した式による揚力であり、揚力安定化水位については、これまでの解析結果より、一律 9.0m と設定している。

4. 安全率 β の算出

図-8に橋桁浸水後の力のつり合いを示した図を示す。本研究で得られた揚力に関する結果を用いて、橋桁の水平移動に対する安全率 β を、幸左らによって提案された式(3)に従って算出し、 $\beta < 1$ となったとき、橋桁の水平移動が生じるとみなす。

$$\beta = \frac{R}{F} = \frac{\mu(W - L)}{\frac{1}{2} \rho_w C_d v^2 A} \quad \text{式(3)}$$

ここに、 R ：摩擦抵抗力、 F ：抗力、 μ ：摩擦係数 (=0.6)、 W ：上部工の大気中重量、 C_d ：抗力係数である。なお、抗力についてはモリソン式から慣性力項を省いた式で求めることとし、抗力係数は道路橋示方書に準じて求めている。

5. 東日本大震災の被災状況による提案式の検証

本検討においては、岩手県の陸前高田市を対象とした。また、揚力を求める際に必要となる流速と水位については、図-9に示したような地形で津波遡上解析を行うことで算出することとした。

表-2に、今回の提案式による β と、揚力が考慮されていない幸左らの β および、負の揚力のみを考慮した渡邊らの β とを比較してまとめた表を示す。この表を見ると、被害有りの橋梁の予測精度が向上していることがわかり、揚力を考慮することで安全側の判断が可能となったことが示されたといえる。

今後の検討課題としては、対象とする地域および橋梁データを増やし、検証を行った後に、提案した津波被害予測式の南海トラフ地震への適用を行う必要がある。

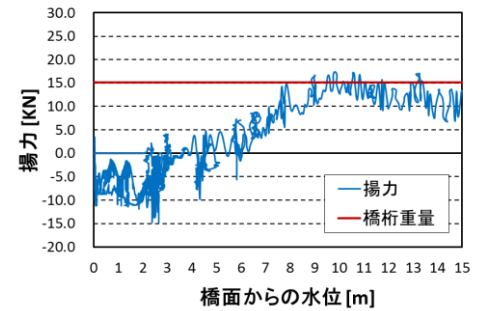


図-6 橋面からの水位と揚力の関係

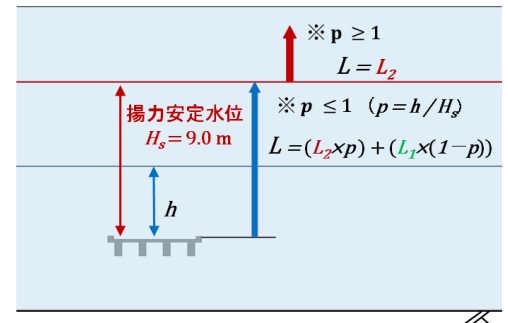


図-7 水位を考慮した揚力の算出方法

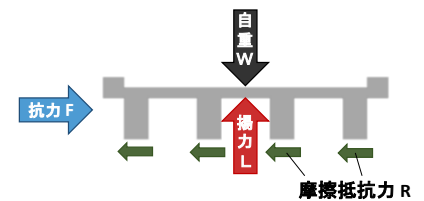


図-8 橋桁浸水後の力のつり合い

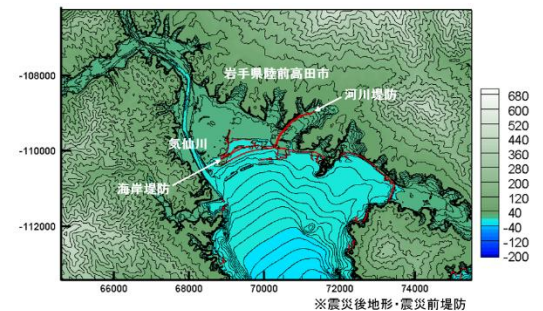


図-9 津波の再現計算地形

表-2 被害予測式別の安全率 β の比較

	橋名	渡邊らの β	被害状況との比較	幸左らの β	被害状況との比較	提案式 β	被害状況との比較
被害無し	浜田橋	1.92	○	1.65	○	1.53	○
	川原川橋	8.67	○	11.27	○	23.44	○
	裏田橋	2.35	○	2.34	○	0.87	×
	橋名不明①	3.42	○	3.27	○	4.03	○
	和野橋	6.55	○	7.43	○	11.85	○
	下の沢橋	11.68	○	15.25	○	23.57	○
被害有り	沼田跨線橋(車道)	2.28	×	1.91	×	-0.45	○
	橋名不明②	1.78	×	0.79	○	-5.25	○
	川原橋	3.71	×	5.46	×	1.69	×
	気仙大橋	1.14	×	0.59	○	0.03	○
	姉齒橋	1.42	×	1.08	×	-1.03	○
	詭石橋	0.61	○	0.42	○	-0.17	○