

粒子法を用いた橋桁桁端部付近の流水挙動の解析

東京都市大学 学生会員 ○渡辺 悠人
 東京都市大学 正会員 白旗 弘実
 (研究時)東京都市大学 非会員 三上 健斗

1. はじめに

近年日本国内において記録的な豪雨が多く発生している。これに伴い、橋梁ジョイント部分での漏水や排水装置の許容量を超える雨水の流入が懸念される。橋梁の損傷の多くは桁端部で発生しており、損傷の種類としては腐食が多く報告されている¹⁾。損傷した橋梁ジョイント部は補修後も数年経過すると累積の損傷発生率が50%に達するという報告もある³⁾。既往の研究²⁾では保田らによってセルラオートマント法によって橋面排水に関して行われているが、橋梁桁端部や橋梁ジョイント部の止水に関する研究は多く行われていない。

本研究では粒子法解析にて橋梁桁端部がサビ発生に至る漏水挙動を把握することにより、橋梁の長寿命化に寄与することを目的とする。

2. 粒子法について

粒子法では連続体を粒子によって表現し、各粒子に物理量を持たせることで自由表面の激しい変形が生じても解析を行えるといった特徴がある⁴⁾。粒子法ではナビエ-ストークス方程式と連続の式に従い流体粒子を移動させて解析を行う。ナビエ-ストークス方程式を以下の式(1)に示す。 ρ は密度、 p は圧力、 ν は動粘性係数、 u は速度、 g は重力を表す。

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \nu\nabla^2 u + g \quad (1)$$

連続の式を以下の式(2)に示す。 ρ は密度 u は速度を表す。

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho\nabla \cdot u = 0 \quad (2)$$

本解析は支配方程式であるナビエ-ストークス方程式のすべての項を陽的に解く EMPS(Explicit Moving Particle Simulation)法を用いて行った。陽解法を用いた理由としては、1ステップの解析時間が半陰解法と比べて陽解法のほうが短くなるからである。

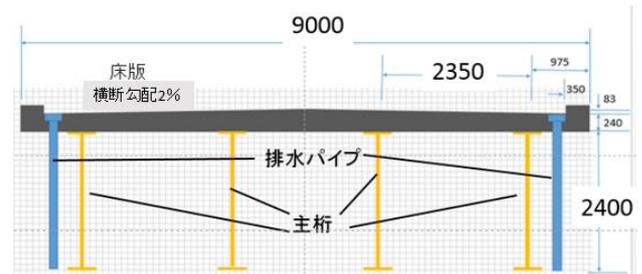


図-1 橋軸直角方向のモデル図(単位は mm)



図-2 橋軸方向のモデル図

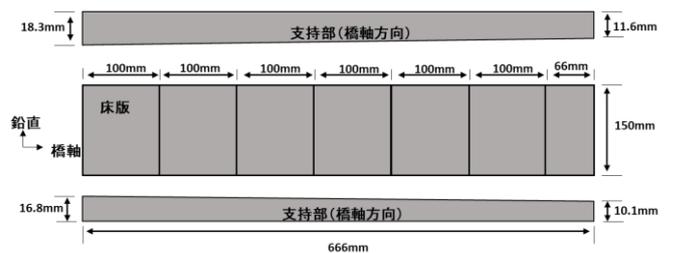


図-3 実験模型モデル平面図

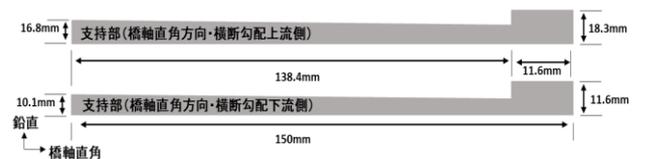


図-4 実験模型モデル側面図



図-5 実験模型

3. 模型実験

図-1, 2 に支間長 20m 幅員 9m の道路橋のモデル図を示す。本解析で用いたモデルの寸法概要を図-3, 4

キーワード 粒子法 可視化 桁端部 陽解法

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL:05-5707-0104 E-mail:g1881647@tcu.ac.jp

に、実験模型を図-5 に示す。このモデルは図-1, 2 に示す道路橋の 30 分の 1 サイズの実験モデルをもとに作成した。対称性を考慮し橋梁を 4 分の 1 に分割している。

本実験は排水パイプを用いて排水された水と、桁端部に流入し排水された水を計測するために行った。排水桁高さをパラメータとし、1 時間当たり 100mm 相当の雨量を流し計測した。

4. 解析方法

モデルの全体像を図-6 に示す。粒子法では同地点に粒子が 2 つ以上存在すると圧力が無限に発散してしまいますため、2 辺が交わる箇所では初期粒子間隔を考慮してモデル化を行った。間隔は 2mm とした。図-6 右図のように橋面から 3mm 離れた位置に流体粒子で水柱を作り、この水柱を崩壊させ雨を疑似的に表現し、解析を行った。時間刻み幅を 0.00005 秒に設定し解析時間は 15 秒間である。排水桁高さごとの粒子の総数と流体粒子の総数を表-1 に示す。流体粒子は同数としている。ここで流体粒子が 12610 個はこのモデルにおいて 1 時間当たり 65mm 相当の雨量である。

5. 解析結果

出力された VTK 仕様のファイルと ParaView を用いて可視化を行った。7 秒後の可視化結果と実験結果を図-7 に示す。赤が壁粒子、青が流体粒子を表している。実験時の水の流れを解析でも再現できていることが確認できた。模型実験と解析で得られた排水パイプと桁端部への流入量の合計を 1 とし、それぞれの流入量の割合を比較した結果を表-2 に示す。表-2 より実験値と同様に排水桁深さが大きくなるにつれパイプへの流入量が多くなることが確認できた。

6. まとめと今後の展望

模型実験と同じサイズのモデル作成した。解析値と実験値の比較を行った。実験と同じような傾向を得ることができた。一方、パイプへの流入量が約半分という結果になっている。この原因として、パイプの径が 5mm に対し流体粒子の径が 2mm であり流入する量も多いため詰まってしまったことが考えられる。

今後はパイプの径に対し最適な流体粒子の径を見つけ、桁端部の詳細なモデルを作成し漏水挙動の把握を行う。また、桁端部防食のための排水装置の検討も行う。

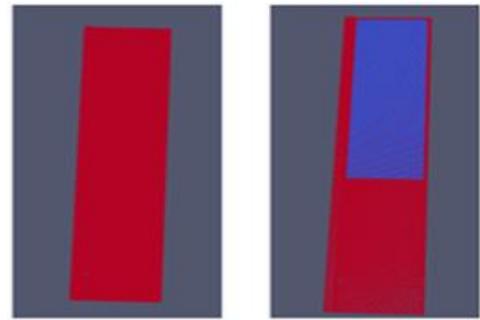


図-6 モデル概要(右:流体粒子あり)

表-1 排水桁ごとの粒子数

排水桁高さ	粒子の総数	流体粒子の総数
1mm/2mm	146742	12610
3mm/4mm	146762	
5mm	146782	
7mm	146802	

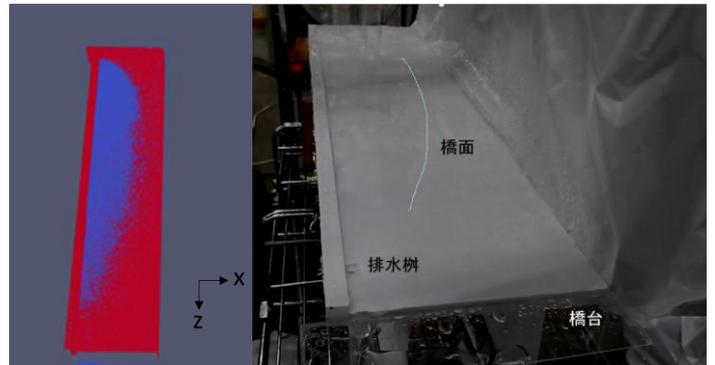


図-7 7 秒経過時の様子(左:解析, 右:実験)

表-2 実験値と解析値の比較

		実験値の比率(%)		解析値の比率(%)	
		パイプ	桁端部	パイプ	桁端部
排水桁	1mm	16	84	8	92
	2mm	23	77	9	91
	3mm	21	78	9	91
	4mm	23	77	10	90
	5mm	24	76	10	90
	7mm	25	75	12	88

参考文献

- 1) 国土交通省 道路橋の予防保全 会議資料
- 2) 保田敬一, 白木渡, 島村洋平, 堂垣正博:セルラオートマトンによる橋梁路面排水シミュレーション, 土木情報利用技術論文集 vol13, pp197-204, 2004 年
- 3) 国立研究開発法人土木研究所, 寒地構造チーム, 橋梁ジョイント部の補修技術に関する研究
- 4) 越塚誠一, 柴田和也, 室谷浩平, 粒子法入門, 丸善出版, pp. 11-213, 2014 年 7 月