河床変動シミュレーションによる洗掘現象の再現性に関する基礎的検討

鉄道総合技術研究所	(正)〇湯浅	友輝
鉄道総合技術研究所	(正) 渡邉	諭
鉄道総合技術研究所	(正) 太田	直之

1. 目的

河川増水時の橋脚周りの洗掘現象は,橋脚基礎の安定性を低下させる場合 があり、列車の運行に与える影響は大きい.しかし、洗掘のメカニズムや洗 掘が橋脚に与える影響には不明確な部分が多く,河川増水時の橋脚の安定性 を評価することは難しい. このため、本研究筆者らは実物橋脚と地盤を模擬 した水路模型を用いて増水時の河床変動を再現する洗掘実験¹⁾を行い,洗掘 メカニズムの解明を目指している.本稿ではその基礎検討の一つとして,橋 脚周りの水の流れとそれに伴う河床変動についての洗掘実験の再現解析を 行うことを目的とし,三次元乱流計算および河床変動の計算が行えるソルバ ー(NaysCUBE)を用いた河床変動シミュレーションを行い、実験結果と比較 をした. さらに,解析で用いる各パラメータが橋脚周りの河床変動に及ぼ す影響を評価するために、パラメータスタディを行ったのでその内容を報 告する.

2. 解析手法

本解析で用いた基本ケースとなる解析モデルを図1に示す.解析モデル は実験を模擬したもので、河床幅 0.5m×河床長さ 0.5m であり、橋脚の形状 は実物大橋脚の 1/35 の縮尺を仮定している.また、基本ケースにおける主 な解析パラメータを表1に示す.ただし各解析パラメータは比較的河床が ゆるい条件で実施した実験の値($\rho_d=1247 \text{kg/m}^3$)¹⁾を仮定して設定している.

解析では図1の左側を上流として下流の水位を固定し,静止状態を0秒と し、そこから流速を与え、流水による河床変動の様子を確認した.なお、 本解析の掃流砂モデルには山口・泉モデル²⁾を用いた.

3. 解析結果

図2に解析を始めて600秒後の河床高のコンター図を示す.これ以降は 河床高に大きな変動は見られなかったため,600秒後の状態を終息洗掘形状 とした. また, 図3に実験での終息洗掘形状を示す. 図2と図3より, 解 析では橋脚の側面から後方にかけて洗掘が進行し河床高が減少しているが, 実験では橋脚断面に相似形で一様に洗掘が進んでいることがわかる.また, 図4に橋脚前方(図1中地点K)での河床高の経時変化の様子を示す.図4よ り解析での橋脚前方の洗掘深は実験の3分の1程度と小さくなっている. さ らに、解析で最も洗掘は進行した橋脚側面の後方(図1中地点M)でも実験ほ どの大きな洗掘は見られなかった.

解析が実験に比べて橋脚周りの洗掘量が少ない原因について考察するため に、基本ケースで用いた解析パラメータを変化させ、そのパラメータが河床

0.5m 河床 地点κ 橋脚).5m 流下方向 地点M

図1 解析モデル

表1 基本ケースの解析パラメータ		
格子間隔(m)	0.01	
時間間隔(s)	0.005	
流速(m/s)	0.4	
水位(m)	0.055	
マニング粗度係数(河床)(m ^{-1/3} s)	0.02	
マニング粗度係数(橋脚)(m ^{-1/3} s)	0.01	
河床材料の空隙率	0.4	
河床材料の静止摩擦係数	0.7	
河床材料の動摩擦係数	0.5	
河床材料の平均粒径(m)	0.0003	
河床水中安息角(deg)	35	
河床材料の密度(kg/m³)	2689	



基本ケースの河床高(600 秒後) 図 2



図3 実験での終息洗掘形状

キーワード 洗掘、数値シミュレーション

〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38(公財)鉄道総合技術研究所 地盤防災 TEL042-573-7263 連絡先

変動に与える影響について検討した.基本ケースの粒径を 1/3 にしたケース(a),密度を約 3/4 倍としたケース(b),河床材料の パラメータは変化させず流速を2倍としたケース(c)を検討した. 図 5(a)~(c)は各ケースの河床高のコンター図である.ただし流 速を大きくしたケース(c)は途中で計算が発散したためその直 前の時刻でのコンター図を示す.図4中には各ケースでの地点 K での河床高の経時変化を合わせて示している.図5(a)より, 平均粒径を小さくすると洗掘深が大きくなるとともに橋脚側 面の後方で洗掘の範囲が広くなった.これは,粒径が小さくな

ることで限界掃流力が小さくなり洗掘の範囲を広げたためと考えられる.次に, 図 5(b)より,密度を小さくしても洗掘形状及び深さは基本ケースとほぼ変わら ないことがわかる.図 5(c)より流速を大きくすると基本ケースよりも洗掘深が 著しく大きくなり,洗掘の範囲も広くなることがわかる.しかしながら,いず れのケースでも橋脚前方の洗掘形状は基本ケースとほぼ変わらず,洗掘深も図 4 からわかるようにわずかに基本ケースよりも大きくなるものの実験で生じ たような深さの洗掘は見られなかった.なお,図6に基本ケースにおける10 秒後の A-A'断面(図1)での流速分布を示す.図6より,橋脚前方の河床付近で は河床に対して垂直な方向の流速は見られるが,流下方向の流速はほぼ見られ ず,この傾向は(a)~(c)のいずれのケースでも同様であった.このような結果 となった原因として,橋脚前方の河床付近において河床面に平行なせん断流速 が小さく掃流力が大きくならなかったため洗掘が進行しなかったことが考え られる.これに対し,実験では河床に対して垂直な方向の流速や渦流によって 河床材料にゆるみが生じ洗掘を助長したと考えられる.以上のことから今回の 計算条件では洗掘規模を過小に評価することがわかった.

4. まとめ

今回の解析により得られた結果を以下にまとめる.

(1) 三次元乱流計算および河床変動が計算できる NaysCUBE を用いて実験を 模擬した解析を行った結果,実験で観測された洗掘量よりも解析で求めた洗掘 量の方が全体的に小さく,特に橋脚前方での洗掘規模に大きな違いが見られた.

(2) 基本ケースから様々なパラメータを変化させて解析を行った結果,橋脚 側面の後方の洗掘量及び洗掘形状に影響はあるものの橋脚前方の洗掘規模は ほぼ変わらなかった.

(3) 今後の課題として橋脚周りの洗掘現象の再現性を高めるためには,橋脚 周りの流体の流れをより高精度に計算できる解析手法あるいは地盤のゆるみ

を表現できるモデルなどが必要であると考えられる.

参考文献 1)宮下優也,渡邉諭,阪東聖人,湯浅友輝,太 田直之,杉山友康;橋脚基礎周辺の地盤内間隙水圧等に着目 した洗掘模型実験,第51回地盤工学研究発表会(投稿中) 2)山口里実,泉典洋:デューン-平坦床遷移過程にみられる 亜臨界分岐現象,土木学会 論文集,740号, pp.75-94,2003.



図4 河床高の経時変化(図1中地点K)





図 6 流速ベクトル(A-A'断面)(10秒後)