# 木曽川における大規模深掘れの発生要因の分析

INVESTIGATION OF CAUSES FOR LARGE SCOURING DEVELOPING IN THE KISO RIVER

# 齋藤正徳<sup>1</sup>•古賀博久<sup>2</sup>•高橋伸次<sup>3</sup>•稲葉傑<sup>3</sup> 浅野和広<sup>4</sup>•黒田直樹<sup>5</sup>•柳瀬伸一<sup>6</sup>•西澤諒亮<sup>5</sup> Masanori SAITO, Hirohisa KOGA, Shinji TAKAHASHI, Suguru INABA Kazuhiro ASANO, Naoki KURODA, Shinichi YANASE and Ryosuke NISHIZAWA

1正会員 工博 国土交通省中部地方整備局木曽川上流河川事務所(〒500-8801 岐阜県岐阜市忠節町5-1)
 <sup>2</sup>非会員 工修 国土交通省中部地方整備局木曽川上流河川事務所(同上)
 <sup>3</sup>非会員 工学 国土交通省中部地方整備局木曽川上流河川事務所(同上)
 <sup>4</sup>正会員 工学 長崎県土木部 部長(〒850-0861 長崎県長崎市江戸町2-13)
 <sup>5</sup>正会員 工修 株式会社建設技術研究所 中部支社河川部(〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1-5-13)
 <sup>6</sup>非会員 工学 株式会社建設技術研究所 中部支社河川部(同上)

There are local scouring of which the maximum depth is up to 20 meters and exposure of a layer of clay in the segment2-2 zone of Kiso River. However, the progression mechanism is unknown. In this study, we figured out the amount of riverbed elevation variance disaggregated by Segment scale and carried out field surveys including river bed morphology measurement in order to identify causes for local scouring developing.

The following causes were found out in Kiso River: (1) as the first stage, a decline in sand sediment transport from upstream basin causes the maximum amount of riverbed elevation lowering in the segment2-2 zone of which riverbed is composed of sand, leading to exposure of a layer of clay and riparian tree expansion on sand bars, (2) as the second stage, the concentrated flood flow and the high-speed flow triggered by forestation, locally, cause exfoliating of a layer of clay suppressing riverbed lowering, leading to the erosion of the lower layer of sand at an accelerated pace. The above phenomenon is specific for the alluvial plain with alternating layers of sand and clay vertically.

Key Words: Kiso River, segment2-2 zone, local scouring, layer of clay, riparian tree expansion

# 1. はじめに

日本国内において数多くの局所的な深掘れが報告され ており、その発生メカニズムや現象は様々である。例え ば、利根川下流部では6カ所の大規模深掘れの発生が報 告されており、深掘れに与えてきた河道改修の影響評価 などの原因解明の研究がなされている<sup>1)</sup>.その他に様々 な要因が報告されており<sup>2)、3</sup>、局所的な深掘れの直接的 な発生要因にはユニットスケールからセグメントスケー ルまで様々な空間スケールが考えられる.

また,近年,山地・渓流からの流出土砂量の減少,砂 防・発電・治水等を目的とした上流ダム群における土砂 の捕捉等による流砂環境の変化が起こっており<sup>4,5</sup>,こ れが局所的な深掘れを助長する流域スケールの要因と なっている可能性がある.攪乱頻度の低下や供給土砂量 の減少による河床低下やアーマー化は以前から報告され, 上流ダム群は長期にわたり局所的な流砂の不均衡をもた らすと考えられている<sup>6</sup>. その流砂環境の変化は水際植 生の更新動態へも影響する<sup>7</sup>.

空間スケール及び時間スケールの異なる複数の要因が 重層的に積み重なって現在の河道が形成されている. こ のような局所的な深掘れを含む河床形状の変化は、河川 構造物への影響や河川棲生物を含む生態系への悪影響を 及ぼすおそれがある. 必要な対策を立案するためには, 単独の事象の要因分析ではなく、複数の要因の時空間的 な河道への応答特性の把握が必要と著者らは考えている. その一つの事例研究として木曽川を選定した.木曽川の 下流部では、昭和50年頃までは局所的な深掘れは発生し ておらず、砂礫堆の移動が活発であり、うろこ状の砂州 が形成されていた<sup>8</sup>. しかし,過去の上流ダム群の建設, 砂利採取等の影響もあり,近年では,河床の低下,澪筋 の固定化、砂州・水際部等の河道内の樹林化が顕在化し ている. また, セグメント2-2 (河口から8.4km~ 40.2km)の区間において粘土層の河床への露出や局所的 な深掘れが複数見られ、37km付近では比高差が約20mの 大規模深掘れが発生しており、その要因として第一段階 に河床低下、第二段階に低水路幅の急縮による洪水流の 集中が挙げられているが<sup>9</sup>, 推測の域を出ない. 一方,

木曽川は耐浸食性能が異なる粘土層と砂層が交互に分布 している濃尾平野に位置しており<sup>10</sup>,特有の局所的な深 掘れのメカニズムが考えられる.必要な対策の立案のた めには、その時空間的構造の把握が重要であり、それに より河川工学上有益な知見が得られることが期待できる.

本研究では、上流ダム群と河道区間における粒径別土 砂収支を整理した上で、一次元河床変動計算を用いるこ とにより算出した土砂供給量の差異による河床高の比較 から、局所的な深掘れの第一段階と推定される全川的な 河床低下の要因分析を実施した.次に、セグメント2-2 に属する深掘れ区間を対象に河床形状の詳細な計測等を 実施し、大深度ボーリングから得られた流軸方向の地質 縦断図、定期横断測量の重ね合わせ及び航空写真、並び に平面二次元水理計算による摩擦速度の平面分布から、 局所的な深掘れ発生の時空間的構造の把握を試みた.

## 2. 方法

#### (1) 研究対象領域

濃尾平野を流れる木曽川は,幹川流路延長229km,流 域面積5,275km<sup>2</sup>で,本研究の対象領域は木曽川下流部で ある(図-1).また,一次元河床変動計算の対象範囲, 現地調査範囲,平面二次元水理計算の対象範囲を併せて 示す.このうち,本研究の主な対象区間は,セグメント 2-2(8.4km~40.2km,平均河床勾配:1/6,000~1/4,000, 代表粒径:0.3~0.5mm)の中でも木曽川大堰(26km)よ り上流区間とする.また,40.2km~42.0kmの区間はセグ メント1(40.2km~56.8km,平均河床勾配:1/800~1/400, 代表粒径:50~150mm)に属するが,遷移領域に相当する ため主な対象区間に含める.

#### (2) 粒径別土砂収支

木曽川の全川的な土砂収支を粒径別に把握することを 目的として、「河道内土砂収支」と「ダム堆砂量」の実 績データを整理した.

ここで、河道内土砂収支は、河床変動量、地盤沈下量、 砂利採取量、掘削量の4項目を対象に、以下の方法によ り求めた.河床変動量はHWL以下の河道内容量の差分と した.なお、対象期間は、上述した4項目の実績データ が得られている昭和40年を基準年とした.地盤沈下量は、 木曽川沿川の標高の経年的な低下幅に川幅と延長を乗じ ることにより求めた.砂利採取量、掘削量は、木曽川で 実施された年別、地点別の砂利採取量、掘削量とした.

ダム堆砂量は、図-1に示した丸山ダムの上流域に存在 する治水ダムと発電ダムを対象に、丸山ダムを含む14ダ ムの実績堆砂量を用いた.また、丸山ダムにおいて流軸 方向に2kmピッチで実施されたボーリング調査結果を用 いて、粒径別実績堆砂量を算出した.なお、丸山ダム以 外のダム群の粒径別の堆積土砂は不明であるため、丸山 ダムと同じ粒度構成比を用いることとした.



図-1 研究対象領域(木曽川下流部)

## (3) 一次元河床変動計算

一次元河床変動計算は、木曽川の全川的な河床低下の 要因と推察される「土砂供給量の減少」、「砂利採取」 の感度分析を行うために実施した.なお、土砂供給量の 減少は、山地・渓流からの流出土砂量の減少、上流ダム 群における土砂の捕捉等がその要因となるが、本研究で は後者に着目する.

一次元河床変動計算の基本仕様を表-1に、計算条件を 表-2に示す.計算範囲や観測所等の位置については図-1 を参照されたい.

#### (4) 既存資料の整理

本節では、木曽川で発生している深掘れの時空間的な 構造の把握のため、「地質縦断図と河床高の重ね合わせ 図」と「航空写真」を整理した.

地質縦断図は、これまでに堤防の地質の把握等を目的 として実施されており、蓄積されたボーリング調査結果 から作成した.河床高は、最深河床高と平均河床高を対 象とし、定期横断測量の結果より算定した.最深河床高 はその断面における河道内の最低地盤高、平均河床高は HWL以下の河道内の平均地盤高である.また、航空写真 は、澪筋の位置・砂洲の分布・樹木の繁茂等の河道状況 を把握するため、定期的に撮影しているものである.

#### (5) 現地調査

現地調査は、セグメント2-2の中でも木曽川大堰 (26km)より上流区間の26km~42kmの区間における河道 の現状を詳細に把握するため、平成24年から平成25年に かけて、3D水中測量と底質調査の2つの調査を実施した. 3D水中測量は、調査船に設置した測深器から河床に音 波を照射し、反射波の位相差により測深する手法で、ス

ワス測深機C3D (TeledynBenthos社製) を使用した.本 研究では、26km~42kmを対象に、平常時に水面となって

表-1	一次元河床変動計算の基本仕様
-----	----------------

項目	細目	内容
手法	水理量	準二次元不等流計算
	河床変動量	一次元河床変動計算
	限界掃流力	Egiazaroffの修正式
流砂量	掃流砂量	芦田・道上式
計算	浮遊砂量	芦田・道上式
	河床変動	粒径別の連続式

#### 表-2 計算条件(一次元河床変動計算)

IJ	〔目	内容
初	期河道	昭和51年定期測量結果
対	象区間	0.0k(河口)~丸山ダム地点
対	象期間	昭和52年~平成22年の34年間
下济	陆端水位	横満蔵観測所の実績水位
南派川分派		平面二次元水理解析により得られた分派率
		セグメント3 : 0.017
半日	<b>中</b> 夜 粉	セグメント2-2 : 0.018~0.019
租度1杀致		セグメント1 : 0.024~0.032
		セグメントM <sup>※1</sup> :0.029~0.042
		計算開始直近の河床材料調査結果
		0k~24k :代表粒径D60 <sup>%2</sup> ≒0.35mm:中砂
河	床材料	25k~39k  : 代表粒径D60 <sup>%2</sup> ≒0. 70mm:粗砂
		40k~56k :代表粒径D60 <sup>%2</sup> ≒70mm:巨石
		56k~上流端:40k~56kと同じ値
		考慮あり:実績量を年度末に一括で除去(総量732万
砂利採取		m <sup>3</sup> , 年平均21.5万m <sup>3</sup> )
		考慮なし:砂利採取量なし
供給	現況状態	シルト:0万㎡/年,砂: 18.7万㎡/年,礫:0万㎡/年
土砂	土砂供給	シルト:30.7万㎡/年,砂:145.1万㎡/年,礫:0.5万
量※3	あり	m³/年

※1:56.8kより上流区間が該当する.

※2:60%通過粒径を示す.

※3:シルト:d<0.06mm, 砂:0.06mm≦d<2mm, 礫:d>2mm

いる全領域を対象に調査を実施した.ただし、当該区間 は、平常時に水深が浅い領域が広く存在しており、調査 船の進入が困難な領域は調査対象外とした.

底質調査は、約37kmの木曽川最大の深掘れと約40km~ 42kmの区間に連続的に点在する深掘れ群を対象に実施した.調査地点は、深掘れの最深地点を中心として、約 37kmの深掘れでは合計12地点とし、約40km~42kmの区間 の深掘れ群では合計12地点とした.調査手法は、エクマ ンバージ型、およびドレッジ型採泥器を用いた.

#### (6) 平面二次元水理計算

深掘れの発生要因として,洪水時の水衝部の発生が考 えられる.平面二次元水理計算は,洪水流の集中が深掘 れの発生要因であることを確認することを目的とした.

平面二次元水理計算の基本仕様を表-3に,計算条件を 表-4に示す.初期河道は,後述(図-8参照)のとおり深 掘れの進行が始まったと考えられる平成9年時点の測量 河道とした.なお,対象流量は平成9年以降に発生した 平成11年6月洪水の最大流量8,600m<sup>3</sup>/sを用いた. 表-3 平面二次元水理計算の基本仕様

項目	細目	内容
水理計算	手 法	一般座標系平面二次元水理計算
離散化手	数値解析	有限体積法
法等	移流項	一次精度の風上差分

表4	計算条件	(平面二次元水理計算)
-	PT7T/INI1	

項目		内容
対象河道		平成9年定期測量河道
対象区間		23.0k~56.8k(犬山地点)
下流端水位		準二次元不等流計算結果によるHQ換算水位
上流端流量		8,600 m³/s:H11.6洪水相当
低水路	みお筋	H23.9洪水再現粗度係数(n=0.015)
粗度	植生	草本類:H23.9洪水再現粗度係数(n=0.025)
係数		木本類:透過係数を用いた粗度係数
高水敷粗度係数		0. 018~0. 150

#### 3. 結果

#### (1) 粒径別土砂収支

粒径別土砂収支の整理結果を図-2に示す. 図中には, 粒径別のダム堆砂量,河道内土砂収支を示した.河道内 土砂収支は,セグメント毎に整理することを基本とし, セグメント2-2については木曽川大堰を境に,8.4km~ 26.0km(区間①)と26.2km~42.0km(区間②)の2区間に分 割して示した.河道内土砂収支は,河床変動量,地盤沈 下量,砂利採取量,掘削量を内訳で示し,区間延長の違 いによる影響を取り除くため1kmあたりの量に換算して 示した.ダム堆砂量は,礫,砂,粘土・シルト別に示し た.対象期間は,全川的な河床低下が進行していた昭和 40年から平成4年,全川的な河床低下がおさまった平成5 年から平成22年とした.

地盤沈下,砂利採取,掘削は河床変動に直接的な影響 を及ぼし,図-2において地盤沈下量,砂利採取量,掘削 量は河床低下量と概ね1:1の比較をすることができる. 一方,地盤沈下量,砂利採取量,掘削量の和が河床低下 量に比べて小さい場合には上流域の土砂供給量の減少が 寄与していると考えられる.以上の観点から,図-2より, 昭和40年から平成4年の期間では,セグメント1は砂利採 取,セグメント2-2②は砂利採取および土砂供給量の減 少,セグメント2-2①は地盤沈下,砂利採取および土砂 供給量の減少,セグメント3は掘削および地盤沈下が主 要因で河床低下が起こっていることが確認される.また, 平成5年以降は全ての区間で河床低下がほとんどないこ とが確認される.

ダム堆砂については、粒径別の堆砂量から砂成分の堆 積割合が大きいことがわかる.

#### (2) 一次元河床変動計算

一次元河床変動計算結果を図-3に示す.縦軸は、一次 元河床変動計算の初期河床とした昭和51年測量河道の平



(河床変動(A)については、上昇は正、低下は負で示している.また、地盤沈下(B)、砂利採取(C)、掘削(D)は河床変動の要因であり、絶対値で示している.)

均河床高からの変動高を示す. 横軸は, 流下方向を示し ており, 3. (1)により河床変動の主要因が複数考えられ るセグメント2-2の区間(8.4km~42.0km)の計算結果を 示す. この区間は土砂供給量の減少が大きく河床変動に 影響していると考えられる.

ケース1が現況を表しており土砂供給なし・砂利採取 あり、ケース2が土砂供給あり・砂利採取あり、ケース3 が土砂供給あり・砂利採取なしである.ただし、上流ダ ム群において、実際は土砂の一部はダムを通過し、流入 する全ての土砂が扞止されるわけではないが、その量は 不明であるため、土砂供給なしの条件は、土砂が全量扞 止されるという仮定を与えている点に留意されたい. ケース1とケース2の差が土砂供給量の減少による河床変 動高、ケース2とケース3の差が砂利採取による河床変動 高を示しており、図-3による感度分析の結果より、26km ~42kmにおいて河床変動に及ぼす影響は土砂供給量の減 少が主要因であることがわかった.

#### (3) 既存資料の整理

既存資料の整理結果として、地質縦断図と河床高を重 ね合わせたものを図-4に、航空写真を図-5に示す.河道



特性の経年変化を把握するために、図-4においては昭和 38年、平成4年、平成22年を示し、図-5においては昭和 52年、平成5年、平成24年を示している.

まず、図-4に着目すると、昭和38年から平成4年にかけて全川的に河床高が低下するが、平成4年と平成22年の平均河床高はほとんど変わらない.また、その高さは粘土層の上面と概ね一致していることがわかる.一方、最深河床高について着目すると、昭和38年時には大きな深掘れは見られない.平成4年には最大5m程度の深掘れは見られるが、大規模なものではない.しかし、平成22年には34kmよりも上流において、深掘れ範囲が拡大しており、特に37kmにおいては粘土層を突き破り、15m以上鉛直方向に深掘れが進行していることが確認された.

次に、図-5に着目すると、昭和52年は植生が繁茂して いない砂州が存在しており、平成5年には、砂州上にお いては樹林化が始まり、砂州の面積が減少していること が確認される.さらに、平成24年には砂州が42km付近を 除き、ほぼ全て樹林化していることがわかる.

#### (4) 現地調査

現地調査結果として、3D水中測量結果を図-6に示す. これより、約37kmの深掘れのほかにも40km~42kmの区間 の湾曲部や38.4km付近においても、深掘れが発生してい ることが確認できる.また、深掘れの形状としては、約 37kmの大規模深掘れの拡大図からわかるように、深掘れ の上流端において切り立った崖状になっている.

底質調査について,約37kmの深掘れ箇所では,全12地 点中10地点は砂分が主体であり,代表粒径D60は約0.3~ 0.7mmであった.40km~42kmの区間の深堀れ箇所では,



粘土は確認されず、全12地点中8地点は砂分であり、代 表粒径D60は0.1~0.5mmであった.残りの4地点は礫であ り、代表粒径D60は40~80mmであった。

### (5) 平面二次元水理計算

平面二次元水理計算結果として、摩擦速度の平面分布 を図-7に示す. 同図に示すように、図-6に示した深掘れ 箇所においては概ね摩擦速度が大きいことが確認される.

ここで、対象流量を平成11年6月洪水と設定した理由 は、図-8から、平成9年から平成14年が深掘れの初期段 階が確認される期間であるためである.

には、上流域の土砂供給量の減少に起因した粘土層の河 床への露出が見られた.また、第1ステージから第2ス テージへの移行期の平成5年には、撹乱頻度の減少も相 まって発生したと推定される砂州の樹林化が始まってい ることが確認された. 第2ステージ(平成5年以降)には, 樹林化・澪筋の固定化に伴い発生した洪水流の集中によ る粘土層の剥離、その下の砂層における加速度的な深掘 れの進行が見られた. まず、第1ステージの考察は以下のとおりである. 図-

摩擦速度(m/s) 0.200 0.190

0.170 0.160 0.150 0.140 0.130 0.120 0.100 0.090 0.080 0.070 0.060 0.050 0.040

0.030

0.010 0.000

20,000 ٿِ

15,000

10,000 <del>済</del> 5,000

٥

m3/s

■ 38.4k

■ 41.2k

2(a)からわかるように、濃尾平野にかかる木曽川の下流 部は昭和40年から平成4年にかけて河床が低下している. その直接的な要因は地盤沈下や砂利採取等であるが、他 の区間よりセグメント2-2の区間において、河床低下の 度合いが大きい. これは、上流ダム貯水池の堆砂量のほ とんどが砂成分であることを踏まえれば、上流域からの 砂成分の土砂供給量が減少し、その応答として有効粒径

帯が砂成分であるセグメント2-2の区間の河床が大きく 低下したと考えられる.粘土層と砂層が交互に分布して いる濃尾平野において,図-3からわかるように,以前は 上流からの土砂供給により砂成分が主体の河床はある程 度維持されていたが,土砂供給量の減少により河床が低 下し,下層の粘土層が露出した.砂層よりも耐浸食性能 がある粘土層<sup>9</sup>により平成5年以降の平均河床高の低下は 収まった.一方,昭和58年以降大きな出水が発生してい ないことも相まって(図-8),平成5年時点で砂州が樹 林化し,その後も拡大が続いた.樹林化の拡大要因につ いては,さらなる調査研究が必要と考えられる.以上の ように,第1ステージにはセグメントスケールの河床変 動特性があったことが示唆された.

次に、第2ステージの考察は以下のとおりである. 図-2(b) 及び図-4からわかるように、粘土層によりセグメン ト2-2の区間の平均河床高の低下は抑制されている.し かし、平成5年から平成15年にかけて、約9,000m³/s規模 の出水により複数の地点で粘土層が突破され深掘れが発 生した(図-8).一方,戦後最大の出水が発生した昭和 58年洪水では発生していない. これは、粘土層の耐浸食 性能に起因すると考えられる. つまり, 平成5年以前は 粘土層上の砂層により粘土層がブロックされ、砂と粘土 の混合層による動的平衡状態が保たれていたと推察され る<sup>11)</sup>.動的平衡が維持できない状態では、洪水流の集中 により摩擦速度が局所的に上昇する箇所において粘土層 が剥離し深掘れが発生したと推察される. これは、大規 模深掘れが発生した37km付近において37km~38kmの砂州 の樹林化及び摩擦速度の上昇からもわかるように(図-5, 図-6,図-7),砂州の樹林化→洪水流の集中→粘土層の 剥離という関係が考えられる. 底質調査結果より, 深掘 れ箇所の河床が砂であることから,一旦,粘土層が剥離 すれば、粘土層の下の砂層において、渦により砂が吸い 出され加速度的に深掘れが進行したと推察されるが<sup>12)</sup> そのメカニズムについて更なる調査が必要である.以上 のように、第2ステージには、リーチスケールの河道特 性が起因して局所的な深掘れが発生したと示唆された.

ただし、以上の考察は上流ダム群で土砂が全量扞止されるという仮定でなされたものであり、ダムの通過土砂 量を考慮して行われた研究でないという点で課題を残す.

# 5. おわりに

本研究では、木曽川における大規模深掘れの発生要因 として、以下の知見が得られた.

(1) セグメント2-2の区間で複数の深掘れが発生するに 至った経年的な変化に2つのステージがある.

(2) 第1ステージ(昭和40年から平成4年)には、上流域の土砂供給量の減少に起因した粘土層の河床への露出が見られた.

(3) 第2ステージ(平成5年以降)には、樹林化・澪筋の 固定化に伴い発生した洪水流の集中による粘土層の剥離, その下の砂層の加速度的な深掘れの進行が見られた.

セグメント2-2のうち木曽川大堰の上流区間について, 平成24年時点で深掘れ箇所以外の河床はほとんど粘土層 が露出している状況である<sup>13</sup>.しかし,上流からの砂成 分の土砂供給が減少しており,砂と粘土の混合層による 動的平衡状態が保たれない状況下で表層の粘土層の存続 は今後期待できないと考えられる.将来,次のステージ として,セグメント2-2の全区間において,粘土層が剥 離した場合,大規模な河床低下が生じ,現時点の河床勾 配の維持が困難になることが懸念される.引き続き,深 掘れの発生メカニズムのさらなる把握のための調査を実 施し,併せて,今後の河道管理の方向性を検討していく.

## 参考文献

- 福岡捷二,池田隆,田村浩敏,豊田浩,重松良:利根川下流部 における六大深掘れ原因と低水路改修の評価,河川技術論文集, 第10巻, pp.119-124, 2004.
- 2) 忠津哲也,鈴木研司,内田龍彦,福岡捷二:洪水流による土丹 河床高さの経年変化と堰周辺の砂州変形に伴う洗掘深の増大に ついて,河川技術論文集,第15巻, pp. 249-254, 2009.
- 3) 岡村誠司, 岡部和憲, 福岡捷二:洪水流の縦断水面形変化と準 三次元流解析法を用いた石狩川河口部の洪水中の河床変動解析, 河川技術論文集, 第16巻, pp. 125-130, 2010.
- 4) 池淵周一:ダムと環境の科学 I ダム下流生態系,京都大学
  学術出版会,2009.
- 5) 太田猛彦:森林飽和一国土の変貌を考える,NHKブックス, 2012.
- 6) 辻本哲郎: ダムが河川の物理環境に与える影響,一河川工学 及び水理学的視点から-,応用生態工学, Vol.2, No.2, pp. 103-112, 1999.
- 7) 中村太士:ダム構造物が水辺林の更新動態に与える影響, 応用生態工学, Vol. 2, No. 2, pp. 125–139, 1999.
- 河村三郎:木曽三川~その流域と河川技術,建設省中部地 方建設局,1988.
- 9) 栗原太郎, 浅野和広, 菊池秀之, 髙橋伸次, 黒田直樹:木 曽川の局所洗掘箇所における発生要因の分析, 河川技術論文 集, 第19巻, pp. 165-170, 2013.
- 10) 東海三県地盤沈下調査会:濃尾平野の地盤沈下と地下水, 名古屋大学出版会, 1985.
- 関根正人,岡幸宏,野村正和:粘土河床の浸食に与える流送砂礫の影響,水工学論文集,第57巻,pp.1027-1032,2013.
- 12) 高岡広樹,永山滋也, 萱場祐一:木曽川における深掘れの 実態と形成過程に関する研究,水工学論文集,第58巻,pp. I\_1015-I\_1020, 2014.
- 13) 永山滋也:沖積河川における露盤化と深掘れの変遷及び実 態に関する研究,河川整備基金助成事業成果報告書,公益財 団法人河川財団,2012.

(2014.4.3受付)