

4. 河川流域模擬土質材料の侵食特性データと 地盤情報データベースの併用による 日本国内の河川流域の侵食特性評価

藤田 圭介^{1*}・小峯 秀雄²・村上 哲²・安原 一哉³

¹茨城大学大学院理工学研究科 (〒316-8511茨城県日立市中成沢町4-12-1)

²茨城大学工学部都市システム工学科 (〒316-8511茨城県日立市中成沢町4-12-1)

³茨城大学地球変動適応科学研究機関(ICAS) (〒310-8512茨城県水戸市文京2-1-1)

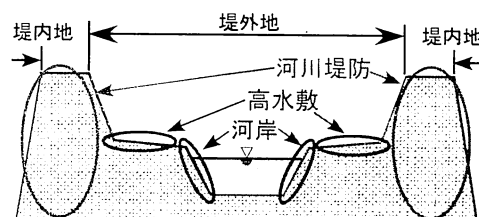
* E-mail: 11nm818a@hcs.ibaraki.ac.jp

河川流域の侵食特性を広域的に評価するための手法を提案した。第一に、河川流域土質材料の粒度分布を考慮し、粒度特性の異なる各模擬材料を作製した。その後、侵食試験を行い破壊時の動水勾配を測定し、その結果より、土質材料の砂分、シルト分、粘土分の各割合から破壊時の動水勾配を推定するための式を導出した。第二に、地盤情報データベースより、河川流域土質材料の砂分、シルト分、粘土分の情報入手し、上記実験式へ入力し、関東地方および北陸地方の主要河川流域の侵食特性を評価した。また、評価結果の整合性を検討するため、評価対象流域の破堤事例を調査した結果、侵食しやすいと評価された地域において、破堤による洪水被害が報告されていた。

Key Words : river, erosion, grain size distribution, laboratory-prepared soils, geotechnical database

1. はじめに

近年の世界的な気候変動の進行に伴い、日本国内における集中豪雨の発生件数が増加しており¹⁾、重要な社会基盤施設である河川堤防、高水敷、河岸に影響を及ぼすと懸念される。ここで、本研究では河川堤防、高水敷、河岸を河川流域と定義することとし、模式図を図-1に示す。集中豪雨の発生件数の増加とともに発生する現象として、河川水の水位の上昇や流速の増加に伴う河川流域の侵食が挙げられる²⁾。実際に、河川流域の侵食による破堤被害は、海外と日本の両方において報告されており^{3), 4), 5)}、発生の抑止および被害の低減化が望まれている。以上より、河川流域を構成する土質材料の侵食特性を広域的に評価する手法の構築が必要である。河川流域の侵食特性の評価に関して、谷口ら(2009)⁶⁾は、河川堤防堤体材料を想定して採取した土質材料を用いて実験的に侵食特性を評価した。しかし、前述の侵食特性評価方法は、評価対象地域の土質材料を採取する必要があるため、広域的な評価を行うことが困難である。また、河川流域を構成する土質材料は、日本各地で粒度特性が異なるため



⁸⁾、土質材料を全て採取して実験的に侵食特性を広域評価することは困難である。そこで著者らは、土質材料を直接入手することなく侵食特性を広域的に評価する手法が必要であると考えた。土質材料の粒度特性に関して、日本では、ボーリングデータをデジタル化した地盤情報データベース⁹⁾が整備されており、土質材料の粒度特性を広域的に把握することが可能である。本研究では、第一に、河川流域を構成する土質材料の粒度分布を反映した粒度特性の異なる模擬材料を作製した。その後、模擬材料を用いて侵食試験を行い⁷⁾、各模擬材料の破壊時の動水勾配を測定し、その結果より、土質材料の砂分、シルト分、粘土分の各割合から破壊時の動水勾配を推定するための式を導出した。第二に、地盤情報データベース

より、河川流域を構成する土質材料の砂分、シルト分、粘土分の各割合を入手し、上記実験式より関東地方および北陸地方の主要河川流域の侵食特性を評価した。第三に、本研究において提案した河川流域の侵食特性評価手法の有効性を確認するため、評価結果と過去の河川流域の被害事例を比較したところ、侵食しやすいと評価された地域において、河川堤防の破堤による洪水被害が報告されていた。

2. 模擬材料作製のための各種土質材料の選定

河川流域を構成する河川堤防、高水敷、河岸は、多量の土を必要するために経済性や施工性を重視し、建設予定地周辺の土質材料を用いて築造されてきた。また、建設予定地周辺の土質材料は、砂分、シルト分、粘土分の質量構成比が地域ごとに異なる⁹⁾。そこで著者らは、河川流域を構成する土質材料の砂分、シルト分、粘土分の質量構成比に着目し、土質材料中の砂分、シルト分、粘土分を模擬する各種土質材料を選定した。各種土質材料の粒径加積曲線を図-2に示す。シルト分の模擬材料は材料A(DLクレー、土粒子の密度 $\rho_s=2.652\text{g/cm}^3$)を用いることとし、粘土分の模擬材料は材料B(クレーサンド、 $\rho_s=2.673\text{g/cm}^3$)とした。砂分の模擬材料は、砂の粒径区分である粗砂、中砂、細砂を考慮して材料C(相馬珪砂3号、 $\rho_s=2.643\text{g/cm}^3$)、材料D(相馬珪砂5号、 $\rho_s=2.644\text{g/cm}^3$)、材料E(相馬珪砂6号、 $\rho_s=2.648\text{g/cm}^3$)を選定し、質量比1:1:1で混合したものを砂分の模擬材料(以降、相馬珪砂と記す)とした。

3. 模擬材料を使用した侵食試験

(1) 侵食試験装置の概要および試験方法

本試験は、供試体の下部から圧力を加え、ボイリングおよびパイピングが発生する際の動水勾配を測定するものである¹⁰⁾。侵食試験装置の写真を図-3に示し、概要図を図-4に示す。本試験装置は、供試体へ試験水を供給する昇降式定水位透水容器、供試体へ通水する侵食試験装置モールドから構成されている。また、供試体下部への流量と水圧を測定するための流量計と水圧計が設置されている。流量計の最大容量は 0.850L/min で最小目盛りは 0.001L/min 、水圧計の最大容量は 100kPa で最小目盛りは 1kPa である。本研究では、各供試体にボイリングおよびパイピングが発生した際の動水勾配から、侵食特性の相対比較を行った。

(2) 供試体の作製条件の設定

河川土工マニュアルの締固め度の規定で、品質下限値

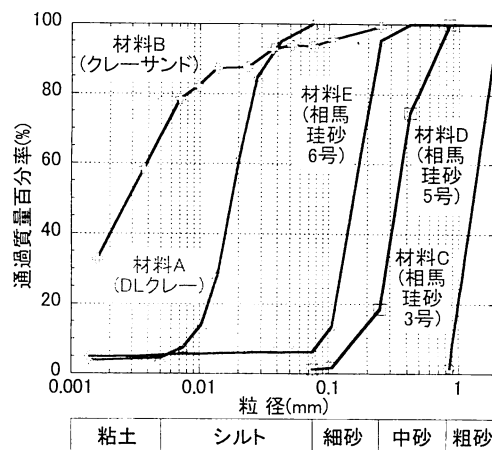


図-2 各種土質材料の粒径加積曲線

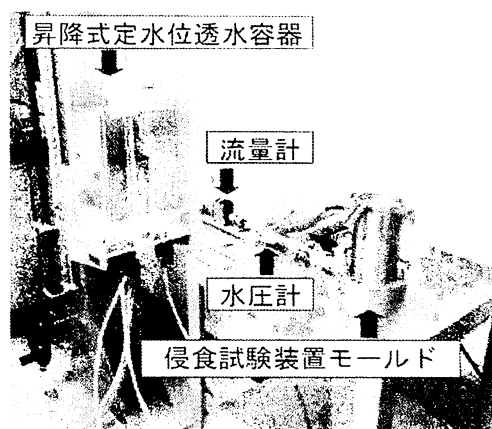


図-3 侵食試験装置の写真

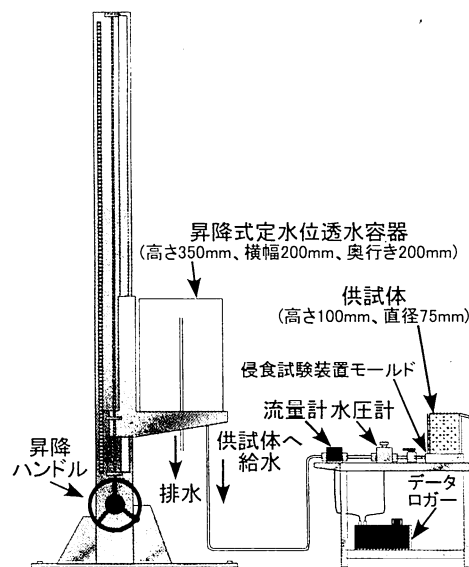


図-4 侵食試験装置の概要図

である締固め度80%の乾燥密度を目標に供試体を作製した⁹⁾。各種土質材料の締固め特性を表-1に示す。表-1より、相馬珪砂の最適含水比11.4%および最大乾燥密度の80%の値 1.42g/cm^3 を目標に供試体を作製することとした。各供試体の作製結果と粒度構成を表-2に示す。

表-1 各種土質試料の締固め特性

土質 材料名	最適 含水比 $w_{opt}(\%)$	最大 乾燥密度 $\rho_{dmax}(g/cm^3)$	最大乾燥密度の 80%の値 $\rho_{d80}(g/cm^3)$
相馬珪砂	11.4	1.77	1.42
DL クレー	19.1	1.55	1.24
クレー サンド	25.2	1.51	1.20

表-2 各供試体の作製結果と粒度構成

模擬 材料 名	砂分 (%)	シルト 分(%)	粘土 分(%)	初期 含水比 $w_0(\%)$	初期 乾燥密度 $\rho_d(g/cm^3)$
A	0	90	10	11.3	1.43
B	56	31	13	11.8	1.44
C	47	40	13	11.6	1.43
D	74	21	5	11.2	1.46
E	48	32	20	12.0	1.45
F	92	4	4	10.9	1.46
G	83	13	4	11.5	1.45
H	65	23	12	12.5	1.44
I	56	24	20	13.3	1.43
J	74	14	12	12.1	1.45
K	19	66	15	12.0	1.43
L	38	41	21	11.9	1.43
M	20	58	22	12.7	1.42
N	33	37	30	12.3	1.42
O	28	25	27	11.8	1.43
P	20	51	29	11.7	1.43
Q	39	33	28	12.9	1.42
R	21	43	36	12.1	1.42
S	11	59	30	11.8	1.45
T	12	52	36	12.2	1.43
U	3	60	37	11.6	1.42
V	3	53	44	11.9	1.42
W	12	44	44	12.2	1.44

4. 各模擬材料の試験結果と侵食特性評価

各試験ケースにおける流量と動水勾配の関係を図-5に示す。全ての試験ケースにおいて、ボーリングおよびパイピングが発生した際に、供試体への試験水の流量が急増した。本研究では、流量急増時の動水勾配を破壊時の動水勾配と定義し、粒度特性と破壊時の動水勾配の相对比较を行うために、図-6に示すように、三角座標上に実験データを記述し整理した。三角座標は、地盤工学会基準「地盤材料の工学的分類方法」(JGS 0051-2009)¹⁰⁾の三角座標を援用した。地盤工学会基準の三角座標では、土質材料中の礫分、砂分、細粒分の各割合を座標上に表示することに対し、本研究で示した三角座標は、土質材料中の砂分、シルト分、粘土分の各割合を座標上に表示できるように作成した。図-6に示す結果より、砂分およびシルト分を多く含有する模擬材料は、破壊時の動水勾配が小さい傾向にあり、粘土分を多く含有する模擬材料は、破壊時の動水勾配が大きい傾向にあることが確認できる。これらの傾向から、砂分およびシルト分を多く含有する

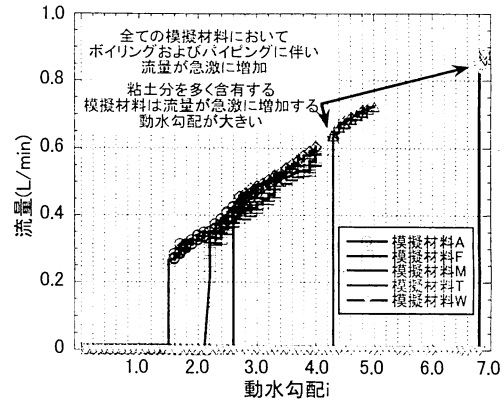


図-5 各模擬材料の流量と動水勾配の関係

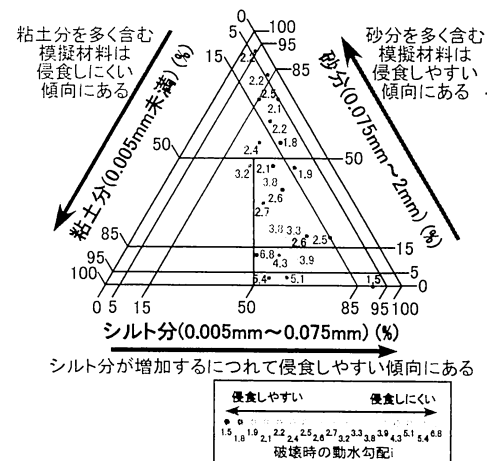
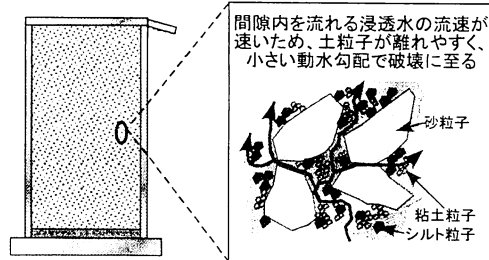


図-6 各模擬材料の粒度特性と破壊時の動水勾配の関係

砂およびシルトを多く含有する供試体



粘土を多く含有する供試体

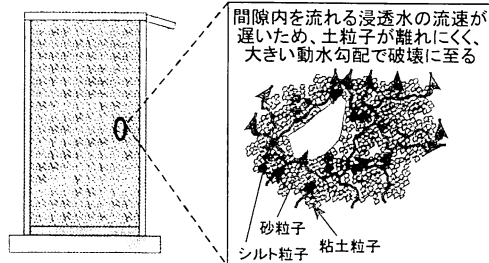


図-7 各供試体の粒度特性と侵食特性の関係

模擬材料は、侵食しやすい傾向にあると考えられる。一方、粘土分を多く含有する模擬材料は、侵食しにくい傾向にあると考えられる。以上の考察から、各供試体の粒度特性と侵食特性の関係の模式図を図-7に示した。砂分

およびシルト分を多く含有する供試体は、間隙内を流れる浸透水の流速が速いため、土粒子が離れやすく、小さい動水勾配で破壊に至ったと考えられる。一方、粘土分を多く含有する供試体は、間隙内を流れる浸透水の流速が遅いため、土粒子が離れにくく、大きい動水勾配で破壊に至ったと考えられる。なお、本章は、すでに参考文献11)で報告しているため、詳細は参考文献11)を参照されたい。

5. 河川流域土質材料の侵食特性広域評価法の提案

(1) 破壊時の動水勾配の推定式の提案

河川流域を構成する土質材料の侵食特性を広域的に評価するために、土質材料中の砂分、シルト分、粘土分の各割合から、破壊時の動水勾配を推定する必要がある。そのための推定式を、前章で述べた各模擬材料の侵食試験結果より提案した。推定式を式(1)に示す。

$$i_{BP.Pr} = 0.036 + 0.012R_{sand} + 0.002R_{slt} + 0.114R_{day} \quad (1)$$

ここで、 $i_{BP.Pr}$ ：破壊時の動水勾配、 R_{sand} ：砂含有率(%), R_{slt} ：シルト含有率(%), R_{day} ：粘土含有率(%)である。式(1)の妥当性を図-8に示す。式(1)は重回帰分析より導出したものであり、決定係数 R^2 は0.81であった。したがって、当てはまりの目安0.70を上回っているため、妥当であると言える。本研究では、評価対象地域の土質材料中の砂分、シルト分、粘土分の各割合を式(1)に入力し、破壊時の動水勾配を推定して侵食特性を広域的に評価する手法を提案した。

(2) KuniJibanを用いた地盤情報の調査

国土地盤情報検索サイト"KuniJiban"¹²⁾を用いて、評価対象地域の土質材料中の砂分、シルト分、粘土分の各割合を調査する。KuniJibanで表示される地盤情報を図-9に例示する。地盤情報の調査では、以下の情報が存在していることを確認することとする。1) 調査を行う地盤情報が河川堤防および河川周辺に存在していること。2) 国土交通省各地方整備局の河川事務所が発注したデータであること。3) 土質試験実施結果が存在していること。上記の内容を確認して土質試験結果一覧URLを選び、ボーリングデータ最上部のデータを確認し、砂分、シルト分、粘土分の各割合を入手する。

(3) 破壊時の動水勾配の推定式と KuniJiban を併用した侵食特性広域評価法の提案

本研究において提案した河川流域土質材料の侵食特性広域評価法の模式図を図-10に示す。提案した評価法では、第一に、評価対象地域の土質材料の砂分、シルト分、粘土分の各割合を入手し、本研究において提案した破壊

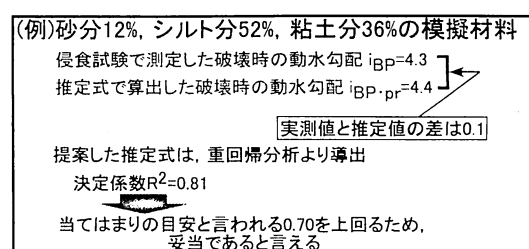


図-8 本研究で提案した推定式の妥当性

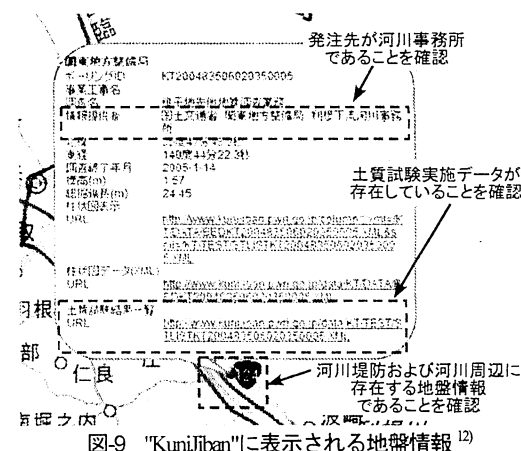


図-9 "KuniJiban"に表示される地盤情報¹²⁾

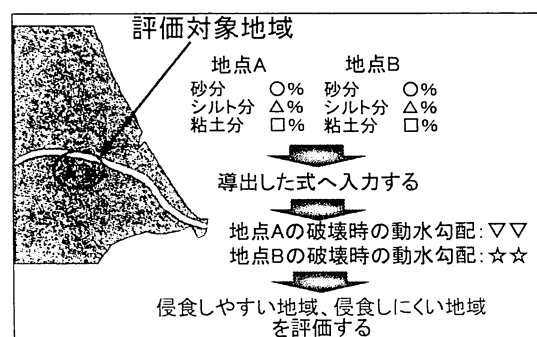


図-10 河川流域土質材料の侵食特性広域評価法の模式図

時の動水勾配の推定式(1)へ入力する。第二に、算出された破壊時の動水勾配から、侵食しやすい地域、侵食しにくい地域を評価する。以上の手順で評価を行うことで、河川流域を構成する土質材料を直接入手することなく侵食特性を広域的に評価することが可能になると考える。なお、本章は、すでに参考文献13)で報告しているため、詳細は参考文献13)を参照されたい。

6. 日本国内の主要河川流域における侵食特性評価

本研究では、関東地方および北陸地方の主要河川流域の侵食特性評価を行った。本章では、その結果について報告する。

(1) 関東地方の主要河川流域の侵食特性評価結果

関東地方では、利根川、鬼怒川、小貝川、江戸川、

況は、小貝川の水位は堤防高より約1m低かったが、裏法面の小段付近に亀裂が生じ、漏水によって水が湧き出していることが確認されている。さらに、時間経過に伴って漏水が増大し、堤体土が流出することで堤体が数mにわたって陥没したと報告されている。また、小貝川下流域の破堤による洪水被害は、昭和61(1981)年のみではなく、昭和56(1981)年、昭和25(1950)年、昭和16(1941)年にも発生している。そのため、長年にわたって河川流域の破堤による洪水被害が発生していると考えられる。以上より、本研究で評価した小貝川下流域の侵食特性は、過去の被害事例と一致していることが示された。

a) 信濃川河口域の破堤による洪水被害の概要^{15), 16)}

信濃川河口域は、ゼロメートル地帯が広範囲にわたって分布しており、集中豪雨の影響によって河川流域が破堤した場合、浸水被害を受けやすいという特徴がある。近年では、昭和 53(1978)年と平成 10(1998)年に河川流域の破堤による大規模な洪水被害が報告されている。平成 10(1998)年 8 月の豪雨時の信濃川河口域の様子を図-14 に示す。平成 10(1998)年 8 月の豪雨時の時間雨量は、新潟観測所で観測史上最大の 64.0mm/hr であった。この豪雨に伴い信濃川河口域の水位が上昇し、河川流域が破堤に至ったと考えられる。この洪水被害以降、鳥屋野潟では 60m³/s の排水能力を持つ親松排水機場に加え、40m³/s の排水能力を持つ鳥屋野潟排水機場が設置された。鳥屋野潟排水機場を図-15 に示す。信濃川河口域では、河川流域の破堤を防止するために、上述のように改修工事が順次進められている。しかし、未改修区間も多く残されており、一連区間で治水安全度を確保するまでには至っていないため、早期の改修を行うことが急務である。

以上より、各主要河川流域における侵食特性の評価結果の整合性が定性的であるものの示された。また、本研究において提案した侵食特性広域評価法の有効性についても示された。

8. 結論

本論文では、河川流域の侵食特性を広域的に評価するための手法を提案するために、第一に、河川流域を構成する土質材料の粒度分布を反映した粒度特性の異なる模擬材料を作製し、実験的に各模擬材料の破壊時の動水勾配を測定し侵食特性データを収集した。その後、前述の測定結果より、土質材料の砂分、シルト分、粘土分の各割合から破壊時の動水勾配を推定するための式を導出した。第二に、地盤情報データベースより、河川流域を構成する土質材料の砂分、シルト分、粘土分の各割合を入力し、上記実験式へ入力した。以上の過程より、河川流域の侵食特性を広域的に評価するための方法を提案した。



図-14 平成 10(1998)年 8 月の豪雨時の信濃川河口域の様子¹⁶⁾

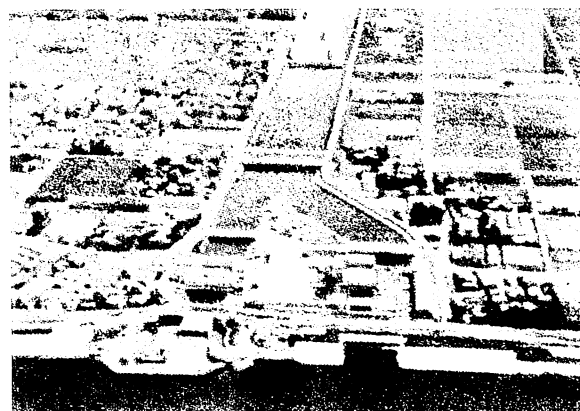


図-15 鳥屋野潟排水機場¹⁶⁾

さらに、前述の侵食特性広域評価法を関東地方の主要河川流域および北陸地方の主要河川流域へ適用し、対象河川流域の侵食特性の評価を行った。その後、各主要河川流域における侵食特性の評価結果の整合性と、本研究において提案した侵食特性広域評価法の有効性を検討するため、侵食しやすいと評価した地域を対象に過去の集中豪雨による河川流域の破堤の被害の有無を調査した。本論文により得られた知見を以下に示す。

- 1) 関東地方および北陸地方の主要河川流域の侵食特性を評価した結果、同じ河川流域内において侵食しやすい地域、侵食しにくい地域が存在し、地域によって侵食特性に差異があることが示された。また、同じ河川流域内において、侵食特性を相対的に評価することが可能となった。
- 2) 関東地方および北陸地方を流れる主要河川流域の侵食特性の評価結果と、本研究において提案した河川流域の侵食特性広域評価法の有効性を検証した結果、侵食しやすいと評価した地域において、過去の集中豪雨に伴う河川堤防の破堤被害が確認された。具体的には、小貝川下流域および信濃川河口域において、河川流域のパイピングおよびボーリングによる堤体内部の侵食被害が確認された。以上より、上述の侵食特性の評価結果の整合性が定性的であるものの示された。また、本研究において提案した河川流域の侵食特性広域評価

法の有効性についても示された。

以上の研究成果は、集中豪雨に伴って河川水の水位の上昇および流速の増加が発生した場合における、関東地方および北陸地方の主要河川流域の侵食特性を広域的に評価したものである。今後は、関東地方および北陸地方以外の地方に関しても、本研究において提案した河川流域の侵食特性広域評価法を用いて同様に評価する必要があると考える。以上の侵食特性の評価結果が社会基盤施設としての河川流域への対策方針の決定に資することが期待される。

謝辞：本研究は、環境省地球環境推進研究「S-8温暖化影響評価・適応政策に関する総合的研究」（研究代表者：茨城大学・三村信男）におけるサブ課題「③アジア太平洋地域における脆弱性及び適応効果評価指標に関する研究」（課題代表者：茨城大学・安原一哉）において実施された研究成果の一部をまとめたものである。関係各位に、ここに深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 気象庁：気候変動監視レポート 2009, p.30, 2009.
- 2) 中島秀雄：図説 河川堤防, 技報堂出版, p.15, pp.60-141, 2003.
- 3) 辻本哲郎：愛知県河川堤防緊急強化検討会報告 新川破堤メカニズムと今後の復旧方針, 土木学会誌 86(10), pp. 74-77, 2001.
- 4) 海面上昇化問題研究会：海面上昇研究報告, p. 3, 2005.
- 5) 吉川勝秀：河川堤防学 新しい河川工学, pp. 110-116, 2007.
- 6) 谷口雄太, 小峯秀雄, 安原一哉, 村上哲, 胸組智光：河川堤防堤体材料における侵食現象の簡易評価法と脆弱性評価, 第 44 回地盤工学研究発表会, 2009.
- 7) 谷口雄太・小峯秀雄・安原一哉・村上哲：新たな侵食試験の

開発と河川堤防堤体材料を想定した土質材料の侵食メカニズムに関する一考察, 土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009.

- 8) 財団法人 国土技術研究センター：河川土工マニュアル, pp. 62-79, 2009.
- 9) 地盤工学会関西支部：GIS による地盤情報の共有と活用 研究委員会報告書, p.3, 2007.
- 10) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説-二冊分の 1-, pp.54-80, 2009.
- 11) 藤田圭介, 小峯秀雄, 村上哲, 安原一哉, 谷口雄太：気候変動に伴う降雨特性の変化が河川流域の土質材料へ及ぼす影響～粒度分布を考慮した河川流域模擬土質材料の侵食特性調査～, 第 46 回地盤工学研究発表会, 2011.
- 12) 独立行政法人土木研究所：地盤力学情報データベース, 国土地盤情報検索サイト”Kunijiban”, <http://www.w.kunijiban.pwri.go.jp/service.html>. (2010 年 10 月 19 日閲覧)
- 13) 藤田圭介, 小峯秀雄, 村上哲, 安原一哉：地盤情報データベースを活用した河川流域土質材料の侵食特性広域評価法の提案, 土木学会第 66 回年次学術講演会 2011.
- 14) 常総市：堤防決壊の事例(昭和 61 年 8 月洪水 利根川水系小貝川), www.bousai.go.jp/jishin/chubou/suigai/090123/090123_sanko_2.pdf (2011 年 1 月 14 日閲覧)
- 15) 新潟県：水害と治水事業の沿革, www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_k_eikaku/gaiyou/seibi/pdf/shinanogawa35-54.pdf (2011 年 1 月 14 日閲覧)
- 16) 新潟県：信濃川下流(平野部)圏域河川整備計画平成 16 年 8 月, www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/karyuu_hei_sei1,0.pdf (2011 年 1 月 14 日閲覧)

Evaluation of river erosion using erosion experimental data of laboratory-prepared soils and the geotechnical database

Keisuke FUJITA, Hideo KOMINE, Satoshi MURAKAMI and Kazuya YASUHARA

In river levee and bank, erosion is one of serious problem. These days, the number of torrential rainfall has increased and damage of river levee and bank by erosion will also increase. Firstly, we constructed wide area evaluation of river erosion focused grain size distribution. Nextly, we evaluated river erosion using our constructed evaluation method for Kanto-area main rivers and main rivers. As a result, we could distinction vulnerable areas and endurance areas to erosion for Kanto-area and Hokuriku-area. Finally, we examination of validity for wide area evaluation of river erosion focused grain size distribution.