

# 河川堤体材料の水浸時の形状維持特性と耐浸食性に関する研究

澤 孝平\* 友久誠司\* 神田佳一\*

## Studies on the Maintainability of Stability and the Erosion Resistance of River Embankment Materials Submerged

Kohei SAWA, Seishi TOMOHISA, Keiichi KANDA

### ABSTRACT

In Japan, many river disasters due to heavy rain or typhoon have occurred every year. The river embankments have constructed to be stronger and more stable. The river embankment materials are necessary to have the properties of the protection from the collapse by submerged water and from the erosion by flood flow. The purpose of this study is to be clear the most suitable materials for river embankments. The strength and erosion tests of several kinds of materials are performed.

As a result, (1) when the specimens are formed with less than optimum moisture content (OMC), high strength is gained. But the strength is decreased further by submergence and specimens collapse within a short submerged time. On the other hand, in the case of higher water content than OMC, the strength reduction with submergence is less and the specimens have been stable. (2) When the embankment materials which are mixed with 10% of fluidized bed combustion coal fly ash and cured for two weeks, the strength and the resistance against collapse by submergence become remarkably large. (3) The erosive characteristics against the flow are also governed by moisture content of the embankment materials. In the case of lesser moisture content, large scour holes develop along the bottom edge of the bank by the fluid force under the flood flow condition. On the other hand, the materials with higher moisture content than OMC aren't eroded much because of the coherent force of small particles in the materials.

**KEY WORDS:** River Embankment, Erosion Resistance, Unconfined Compressive Strength, Local Scour

### 1. 緒 論

平成 16 年にわが国に上陸した台風は 11 個であり、記録的な数であった。本年にはハリケーンによる甚大な被害がアメリカ南部を襲っている。これらの台風や集中豪雨などで生じる洪水被害は、有史以来幾度となく繰り返されており、その対策としての治水事業は人々の安全を守る意味で重要な施策として取り組まれてきた。

わが国の河川の場合、治水の根本は堤防構築である。越流や浸透水による破堤や、地震などによる崩壊を防止

することが重要である。そのためにスーパー堤防の構築や既存の堤防の補強対策が、国土交通省を中心に急ピッチで進められている。

本報は、国土交通省近畿整備局淀川河川事務所が行っている「木津川堤防の補強工事」に伴う堤防補強用盛土材料の検討の内、堤防材料の水浸時の形状維持特性と耐浸食性について、特定非営利活動法人「建設副産物リサイクル促進機構」からの受託研究として、実験的に検討した結果の一部をまとめたものである。

河川堤防に要求される条件は、流水により洗掘されにくいこと、及び堤体内への水の侵入を防ぎ、かつ浸水時

\*都市システム工学科

にも十分な強度と安定性を保つことである。木津川堤防の補強では、難透水性材料による腹付け盛土工が採用された。難透水性材料としての具体的な条件は、透水係数が  $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$  以下であること、そのために細粒含有率が20%以上であることが要求された。また、施工性からは締固め含水比の設定とその管理が問題でもある。

本研究の目的は、上記の難透水性材料(ここでは堤体材料と呼ぶ)の選定及び設計・施工方法の基準策定の一助として、(1)堤体材料の水浸時の強度及び形状維持特性、(2)流水に対する耐浸食性を明らかにすることである。

## 2. 堤体材料の水浸時の強度及び形状維持特性

実験には、堤体材料のみと、堤体材料に添加材を混合した改良土の2種類を用い、それらの強度特性と水浸時の形状維持特性について検討する。

### 2.1 試料と実験方法

#### 2.1.1 試料

実験に用いた堤体材料は、木津川堤防強化用盛土材として準備された2種類であり、試料Aと試料Bと呼ぶ。これらは表1に示すように、各種の建設工事現場からの発生土を河川堤防の建設材料として使用できる粒度に混合・調整したものである。これらの性質及び粒度は表2、図1に示すようであり、試料Aは中粒度、試料Bは粗粒度に分類される。

堤体材料の含水比は、最適含水比を中心にして、試料Aは6%、8%、10%、12%、14%、試料Bは5%、7%、9%、11%、13%の各々5段階である。

また、堤体材料の改質のために用いる添加材は、新日本製鐵(株)広畑製鐵所産の石炭灰(流動床灰)であり、添加率は堤体材料の湿潤質量の10%である。

#### 2.1.2 実験方法

供試体は直径10cm、高さ20cmの円柱形であり、2.5kgランマで5層24回と36回の2種類の締固めエネルギーで成形する。供試体は樹脂フィルムで密封して20の恒

表2 堤体材料の性質<sup>1)</sup>

| 項目                        | 試料A                   | 試料B                   |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 土粒子の密度 $\text{g/cm}^3$    | 2.63                  | 2.63                  |
| 自然含水比 %                   | 10.2                  | 10.1                  |
| 最適含水比 %                   | 10.2                  | 9.0                   |
| 最大粒径 mm                   | 26.5                  | 53.0                  |
| 透水係数 $\text{cm/sec}$      | $4.96 \times 10^{-6}$ | $5.22 \times 10^{-6}$ |
| 粒度 %                      |                       |                       |
| 礫分(2mm~75mm)              | 33.8                  | 40.7                  |
| 砂分(75 $\mu\text{m}$ ~2mm) | 40.8                  | 36.6                  |
| シルト分(5~75 $\mu\text{m}$ ) | 17.3                  | 8.5                   |
| 粘土分(5 $\mu\text{m}$ 以下)   | 8.1                   | 11.8                  |

注) 試験値は堤防強化用盛土材改良検討(その2)業務で測定したものである。

温室にて養生する。

水浸試験は、供試体を静置した水槽に注水し、約10分間で供試体を水没させる。水浸時間は堤体材料だけの供試体は10分間であり、石炭灰を混合した改良土は1時間である。

堤体材料と改良土の強度特性の評価は、一軸圧縮試験で行い、その方法と種類は表3のとおりである。試験は、成形直後及び2週間養生後の供試体と、水浸試験後に崩壊しないで形状が残っている供試体を用いてJIS A 1216の方法により実施する。

## 2.2 結果と考察

### 2.2.1 堤体材料の強度特性

図2は試料を5層24回と5層36回で締め固めた供試体の含水比と乾燥密度の関係である。最適含水比と最大乾燥密度は、5層24回の締固め方法で、試料Aが9.7%、 $2.03 \text{ g/cm}^3$ 、試料Bが9.6%、 $2.07 \text{ g/cm}^3$ 、5層36回の締固め方法で、試料Aが9.3%、 $2.03 \text{ g/cm}^3$ 、試料Bが9.3%、

表1 堤体材料の配合<sup>1)</sup>

| 混合用土の発生工事名      | 試料の種類と配合割合(%) |     |
|-----------------|---------------|-----|
|                 | 試料A           | 試料B |
| 淀川左岸下水道渚処理場建設工事 | 40            | —   |
| 国道423号改良工事      | —             | 50  |
| 木津川水辺プラザ整備工事    | 40            | 30  |
| 佐多西地区緩傾斜堤防工事    | 20            | —   |
| 西羽東師樋門堆積土砂除去工事  | —             | 20  |

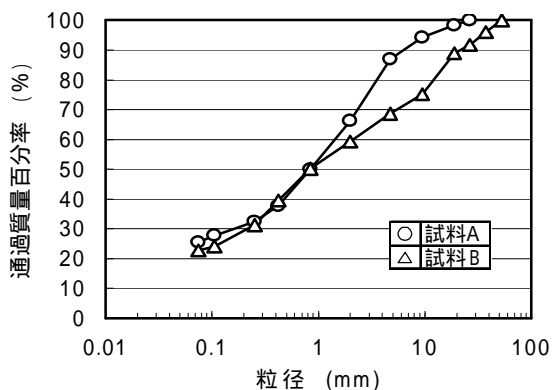


図1 堤体材料の粒度分布

表3 強度試験の方法と種類

| 試料および締固め   | 強度試験             | 含水比(%) |   |    |    |    |     |   |   |    |    |
|------------|------------------|--------|---|----|----|----|-----|---|---|----|----|
|            |                  | 試料A    |   |    |    |    | 試料B |   |   |    |    |
|            |                  | 6      | 8 | 10 | 12 | 14 | 5   | 7 | 9 | 11 | 13 |
| 試料のみ       | 成形直後             |        |   |    |    |    |     |   |   |    |    |
|            | 5層24回 成形+水浸直後    | —      | — |    |    |    | —   | — |   |    |    |
| 試料のみ       | 成形直後             |        |   |    |    |    |     |   |   |    |    |
|            | 5層36回 成形+水浸直後    | —      | — |    |    |    | —   | — |   |    |    |
| 試料+流動床灰10% | 成形直後             |        |   |    |    |    |     |   |   |    |    |
|            | 成形+水浸直後          | —      | — |    |    |    | —   | — |   |    |    |
|            | 2週間養生後           |        |   |    |    |    |     |   |   |    |    |
|            | 5層24回 2週間養生+水浸直後 | —      | — |    |    |    | —   | — |   |    |    |

注) 横線は水浸時に供試体が崩壊したため、一軸圧縮試験は実施していない。

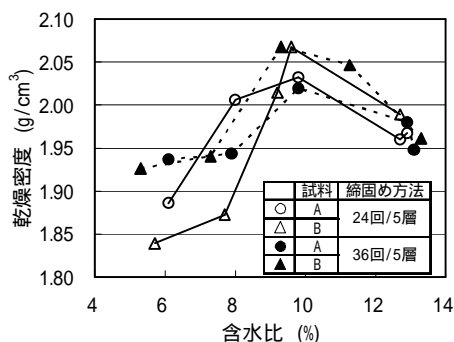


図2 含水比と乾燥密度 (試料A・B)

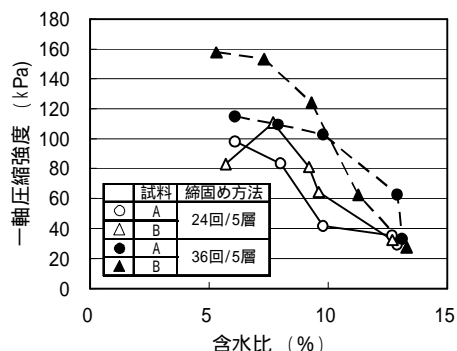


図3 含水比と強度 (成形直後)



(a) 締固め5層24回



(b) 締固め5層36回

図4 堤体材料供試体の水浸後の写真 (試料A)

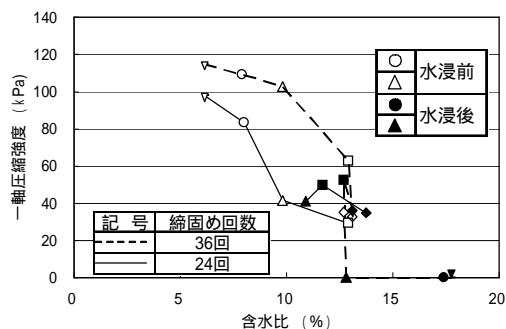


図5 含水比と強度 (試料A、成形直後と水浸後)

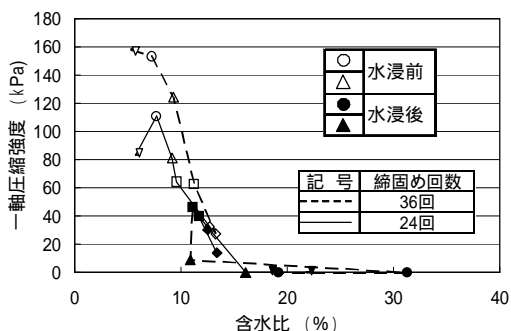


図6 含水比と強度 (試料B、成形直後と水浸後)

2.07 g/cm<sup>3</sup>となり、締固め仕事量が550kJ/m<sup>3</sup>から825kJ/m<sup>3</sup>に増加すると最適含水比は約0.4%低下するが、最大乾燥密度は試料の種類ごとで変わらない。これはいずれの試料も比較的細粒子が少ないため、締固め仕事量の違いによる影響が現れなかったものと考えられる。

図3は供試体成形直後の含水比と強度の関係である。試料A、試料Bとも6%までの低含水比の方が高強度になり、転圧が可能な強度である100 kPaに達している。そして、いずれの試料も締固め仕事量が大きいほど20 kPa~50 kPa高い強度になり、その効果は試料Bの方が大きい。この結果は、供試体の乾燥密度が大きく、低含水比の供試体ほど高強度が得られることを示している。

図4は試料Aの供試体を10分間水浸した直後の写真である。供試体は水没していく箇所から多くの気泡を出し、最適含水比より小さい含水比(6%と8%)で成形した供試体は水浸後10分以内に崩壊する。そして、この水浸による崩壊性は、試料や締固め仕事量による違いは見られない。

図5及び図6は試料A及び試料Bの供試体成形直後及び水浸後の強度を示している。いずれの試料及び締固め回数とも、最適含水比より小さい含水比の供試体は水浸により崩壊したために強度は求められない。

水浸後の供試体の強度は、最適含水比より高い含水比で成形した供試体の成形時の強度とほぼ同じかそれ以下の値である。その結果、低含水比の供試体ほど水浸に基づく強度低下割合が大きい。例えば、試料Bの5層36回突固め供試体の水浸による強度低下量は、含水比13.3%の3kPa、11.2%の16kPaに比べて、含水比9.3%の供試体では93kPaである。

以上の結果、最適含水比より湿潤側の試料では、水浸に伴う強度低下は少なく、形状維持特性も高い。

### 2・2・2 改良土の強度特性

図7は流動床灰を10%添加した改良土供試体の含水比と乾燥密度の関係である。試料A、試料Bとも含水比の変化に対する乾燥密度の大きな変化はなく、明確なピークもみられない。

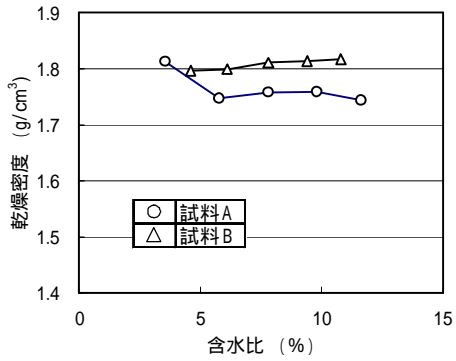


図7 含水比と乾燥密度 (流動床灰10%)

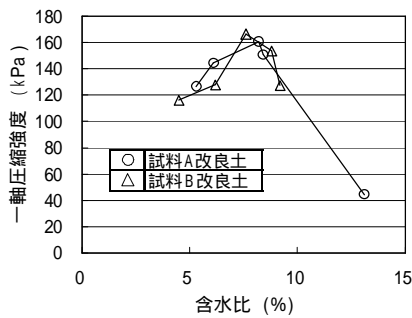


図9 含水比と強度 (改良土、成形直後)

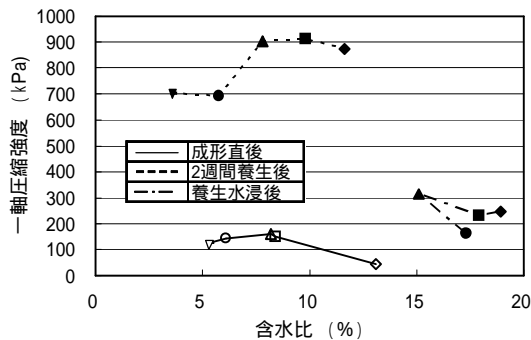
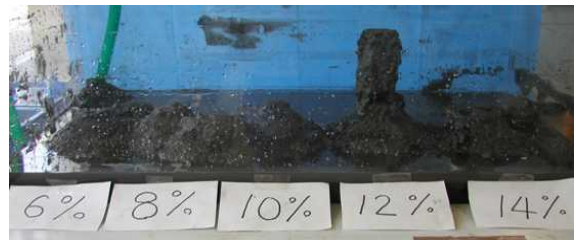


図10 含水比と強度 (試料A改良土、養生前・後 水浸後)

図8は試料Aの改良土供試体を10分間水浸した直後の写真である。供試体の成形直後に水浸すると、ほとんどの供試体は10分以内に崩壊する。しかし、2週間養生後に水浸すると、一部のものを除いて供試体の崩壊は見られない。

図9は供試体の含水比と強度の関係である。堤体材料のみで成形した供試体(図3)に比べ、改良土では最大強度が得られる含水比は8%と大きくなり、含水比の違いによる強度変化はわずかである。これは添加した石炭灰が供試体の粗大な間隙を埋め、バインダーの役割を果たしているためと考えられる。しかし、改良土の最大強度は堤体材料の最大強度とほぼ同じ値である。

図10及び図11は試料A及び試料Bの改良土供試体の成形直後、2週間養生後及び水浸後の強度を示している。



(a) 成形直後



(b) 2週間養生後

図8 改良土供試体の水浸後の写真(試料A)

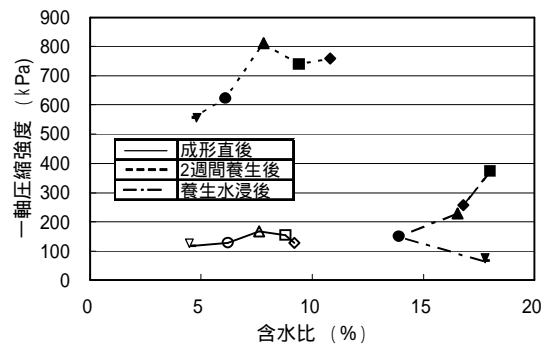


図11 含水比と強度 (試料B改良土、養生前・後、水浸後)

なお、成形直後に水浸した供試体は崩壊するため図には示していない。

試料A、試料Bの改良土では、いずれの含水比の供試体も成形直後に比べて、2週間養生後の強度は一樣に約4倍以上に増加する。一般に、養生の経過による強度発現は乾燥密度や含水比に影響されることがわかっている<sup>2)</sup>。この2種類の改良土は、含水比の違いに対する強度は異なるものであるが、養生に伴う一樣で大幅な強度増加は、石炭灰の固化活性の高さによるものと考えられる。

水浸後の強度試験の結果によると、いずれの供試体も含水比は大きく増加している。最も吸水量の多い供試体は低含水比の約5%のものであるが、それ以外の含水比の供試体の吸水量は同程度であり、水浸前に高含水比のものが高い含水比を示している。これは前に述べた石炭灰の固化効果が発揮された結果を裏付けている。そして、全ての供試体の強度は水浸により、2週間養生後の1/2~1/5の値に減少し、成形直後の強度の1~2倍の値である。



以上の結果、今回の堤体材料に石炭灰を 10% 混合すると、2 週間養生後には大きな強度を発揮し、水浸後の強度低下と形状維持特性も高いことが明らかである。

### 3. 堤体の流水に対する耐浸食性の検討

ここでは、木津川堤防補強用盛土材料を対象として、堤防法面及び高水敷河床を模擬した実験水路で通水実験を行い、流水に対する堤体材料の耐浸食性を検討する。

#### 3.1 実験の概要

##### 3.1.1 堤体材料

実験に用いた堤体材料は、淀川及び木津川の河川工事で発生した 3 種の建設残土を混合して粒度改善を行った難透水性材料（試料 A）である。

突固めによる締固め試験（JIS A 1210）及びコーン貫入試験の結果より、堤体材料の最適含水比は 10.2% となり、このときの最大乾燥密度は  $2.037 \text{ g/cm}^3$ 、湿潤密度は  $2.239 \text{ g/cm}^3$ 、及びコーン指数は  $2486.4 \text{ kN/m}^2$  である。

##### 3.1.2 実験水路

実験に用いた水路は、図12に示すような全長8.6m、幅1.0m、高さ0.3mの木製長方形断面水路で、流水を一旦貯留して整流するための貯留部と水路部からなる。水路勾配は1/50とした。水路部には、3割勾配の堤防法面とそれに続く高水敷河床を模擬するため、図13に示す横断面形状を有する幅0.9m、長さ0.9mの木製型枠を8個水路に並べ、それぞれ含水比と締固め条件を変化させて堤体材料を充填した。この内、上流側の2つのブロック（A、B）は、流れを安定させるための導流区間であり、堤体材料を敷き均した後、表面をニスで固定している。実験区間は、C～Hまでの6つのブロックとし、各ブロックの含水比及び締固め条件は、表4に示す通りである。データの整理上、各ブロックの上流端から流下方向にX座標、法面先端部から高水敷方向にY座標、高水敷面から鉛直上方にZ座標を採っている。

堤体材料の含水比は、屋外に仮置きした状態の土を実験室内で 2 週間乾燥させた状態（ $w=6.4\%$ ）のものを最小とし、さらにその全質量の 2%、4%及び 6%を水で置き換えた場合の計 4 通りの含水比を設定した（表 4）。E ブロックの含水比は、ほぼ最適含水比に等しい。

堤体材料の締固め方法は、以下に示す 2 通りとした。C～Fブロックでは、各堤体材料が最適締固め時の湿潤密度（ $2.24 \text{ g/cm}^3$ ）となるように、アムスラー万能試験機を用いて静的荷重で圧縮成型した供試体（長さ 0.55m、幅 0.15m 及び高さ 0.10m）を作成し、高水敷部は 1 層、法面部は 2 層敷き並べた後、法面の勾配が 1:3 となるように堤体材料の表面を削り取って成形した。このときの試験

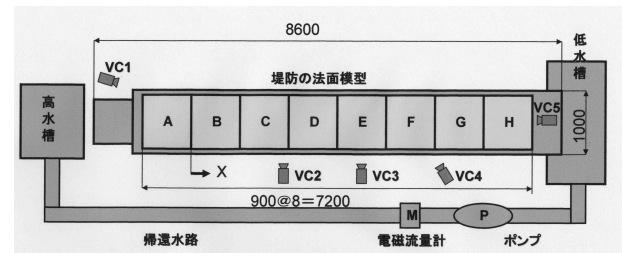


図 12 実験水路平面図（寸法単位：mm）

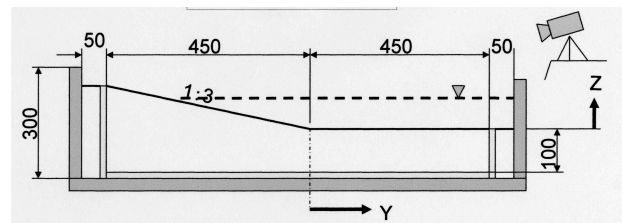


図 13 堤防模型横断面図（寸法単位：mm）

表 4 各実験ブロックの堤体材料の含水比と締固め条件

|       | ブロック                 |     |      |      |                    |      |
|-------|----------------------|-----|------|------|--------------------|------|
|       | C                    | D   | E    | F    | G                  | H    |
| 含水比%  | 6.4                  | 8.6 | 10.8 | 13.2 | 10.8               | 13.2 |
| 締固め方法 | アムスラー万能試験機による静的締固め   |     |      |      | 人力による動的締固め         |      |
| 締固め圧力 | 1.19 MPa（载荷時間 3 分）   |     |      |      | 0.01 MP（载荷時間 20 分） |      |
| 湿潤密度  | 2.24 $\text{g/cm}^3$ |     |      |      | 計測せず               |      |



図 14 実験水路と堤防模型

機の静的荷重（締固め圧力）は 1.19 MPa で、载荷時間は 3 分程度である。

一方、G及びHブロックは、材料を木製型枠内に直接投入した後、図 13 の断面形状になるように、人力で 20 分程度踏み固めたものであり、湿潤密度は計測できていない。堤防模型作成時の状況を図 14 に示す。

##### 3.1.3 実験条件及び実験方法

実験は、含水比と締固め条件を変化させた 6 種類の堤体材料に対して、洪水時を想定した同一の水利条件で通

水した場合の流水による浸食・洗掘特性を比較・検討するものである。このため、水路床勾配を  $I=1/50$  とし、流れが射流でかつ全ブロック区間でほぼ等流となるように水位調節を行った。実験の水力条件を表 5 に示す。

表 5 実験の水力条件

|                             |       |                          |
|-----------------------------|-------|--------------------------|
| 流量 $Q$ (m <sup>3</sup> /s)  | 0.056 |                          |
| 河床勾配 $I$                    | 1/50  |                          |
| 等流水深 $h_0$ (m)              | 0.075 | C~H ブロック間の<br>平均値        |
| 流水断面積 $A$ (m <sup>2</sup> ) | 0.046 | $A = h_0(1+3h_0)/2$      |
| 径深 $R$ (m)                  | 0.058 | $R = A/(3.162h_0 + 0.5)$ |
| 断面平均流速 $V$ (m/s)            | 1.22  | $V = Q/A$                |
| 摩擦速度 $U_*$ (m/s)            | 0.12  | $U_* = (9.8RI)^{0.5}$    |
| マンングの粗度係数 $n$               | 0.021 | $N = R^{2.3}i^{1/2}/V$   |

実験方法は以下のようなものである。すなわち、全通水時間は 90min とし、水路各ブロック中央断面の水位及び表面流速を 5 台のデジタルビデオカメラ及びポイントゲージにより連続記録した。通水開始後  $T=15$ min 及び 45min の時点においては、トレーサー浮子 (直径約 5mm のパンチ屑) を流し、その軌跡から LSPIV 法により表面流速分布を求めるとともに、一旦通水を停止し、レーザー距離計を用いて堤防法面及び河床面の形状を詳細に測定した。河床位の計測間隔は、流下方向 (X 軸方向) は 5cm、水路幅方向 (Y 軸方向) は 2.5cm である。通水終了後 ( $T=90$ min) は、同様に堤体材料の浸食・洗掘量を計測するとともに、流水により浸食された材料表面の強度特性をコーンペネトロメータにより測定した。

### 3・2 実験結果及び考察

#### 3・2・1 水面形と表面流速

図 15 は、通水後  $T=5, 15$  及び 45min において、ポイントゲージで測定した各ブロック中央断面の水深 (時間平均値) を図示したものである。また、図 16 は  $T=10$  及び 40min での流れの様子を示している。流れは全水路区間で射流であり、水面位置はかなり不安定であったが平均的にみると、水路内の断面形状が急変する上・下流端区間 (A、B 及び H ブロック) や後述する河床洗掘に伴う局所的な水面変動を除けば、いずれの時刻においても、C ~ G ブロックの区間でほぼ等流状態が得られており、通水中の水位の時間変化も小さいものと考えられる。

図 17 は、C 及び D ブロックの  $T=20$ min における表面流速ベクトルの LSPIV<sup>③</sup> 解析結果を示している。解析画像

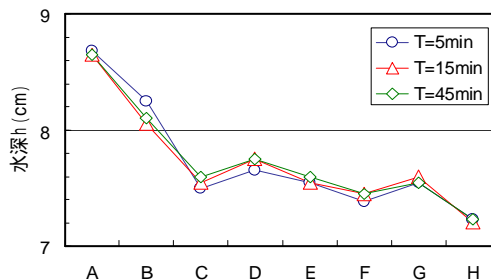


図 15 通水後  $T=5, 15$  及び 45min における水面形

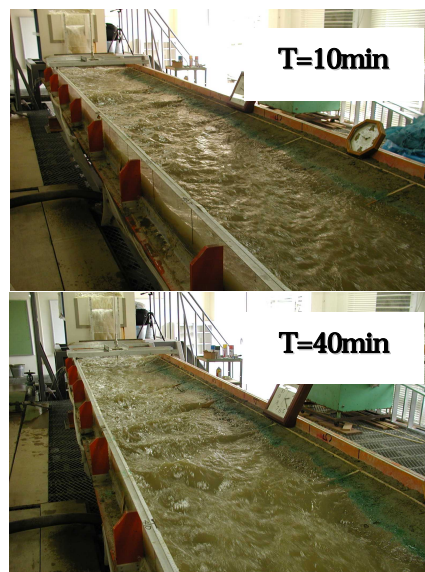


図 16 通水後の流況

は、いずれも 1/30s 間隔で撮影された  $640 \times 480$  画素のデジタル画像であり、解析時間は 12 ~ 15sec である。

堤防法面上の表面流速は、水際で 0.4m/s、法先付近で 1.2m/s に達している。高水敷上の表面流速は、1.2 ~ 1.4m/s 程度である。D ブロックの上流部では大きな水面変動が生じているが、これは射流域でみられる河床面と同位相の水面波であり、この付近で大きな洗掘による河床変動がすでに生じていることを示唆するものである。これと同様の水面波が  $T=8$ min 以降に C ブロックの上流部でも現れており、後に述べる堤体材料の浸食破壊が通水直後に発達したものと考えられる。

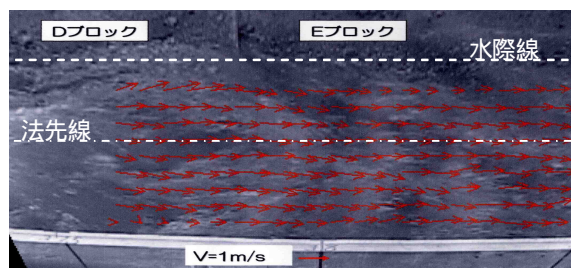


図 17 表面流速ベクトル ( $T=20$ min)



### 3・2・2 流水による堤体材料の浸食・洗掘特性

図18は、T=15、45及び90minにおいて一旦通水を停止した直後及び通水終了後に水路上の水を排水した後の河床及び法面形状を示したものである。また、通水終了後(T=90min)の河床形状の鳥瞰図を図19に示す。これらより、以下のことが考察できる。

最も含水比の小さいCブロック(w=6.4%)では、通水後T=15minの時点で河床から法面中央部にかけて大きな洗掘穴が認められ、その後も洗掘が発達していることがわかる。Dブロック(w=8.6%)では、T=15~45minの間でブロック上流端の法面が崩壊している。浸食を受けた河床面及び法面では、細粒分はほとんど流失しており、直径2cm程度以上の礫質材料によるアーモークコートが形成されている。堤体材料が非粘着性であると仮定すると、本実験の水理条件では粒径2cm以下の砂礫は移動する条件にあることから、含水比が小さい場合には堤体材料の粘着力の効果は小さく、非粘着性材料と同様の流砂特性を示すものと考えられる。

一方、含水比が最適含水比より大きい場合(E~Hブロック)には、流速の大きな高水敷上の河床面は時間の経過とともに徐々に浸食されるが、法面部はほとんど浸食を受けておらず、T=90minでの法面形状もほぼ通水前の初期形状に等しい。これは堤体材料の粘着力の効果によるものと考えられるが、本実験の水理条件の範囲内では、流水に対する法面部の耐浸食性は十分期待できるものであると言える。また、締め固め条件の違いによる浸食量の変化は小さく、堤体材料の浸食特性は主に含水比によって支配されるものと考えられる。

### 3.2.3 通水終了後の堤体材料のコーン指数

図20は、通水終了後の斜面及び河床面の強度特性について、コーンペネトロメータによる貫入試験の結果を示したものである。含水比が最適含水比以下の堤体材料の法面上では、コーン指数が100~200kN/m<sup>2</sup>程度と小さく、土の強度がかなり低下していることがわかる。一方、最適含水比以上の堤体材料のコーン指数は400~1000kN/m<sup>2</sup>程度である。

## 4. 結論

河川堤防築堤材料の強度特性、水浸後の強度及び形状維持特性と流水に対する耐浸食性を追究した。その結果、次のことが明らかになった。

### 4.1 堤体材料の強度及び形状維持特性

(1) 試料A、Bとも締め固め仕事量が550kJ/m<sup>3</sup>から825kJ/m<sup>3</sup>に増加すると最適含水比は9.6%から0.4%低下するが、最大乾燥密度は試料Aが2.03g/cm<sup>3</sup>、試料Bが2.07g/cm<sup>3</sup>でほとんど変わらない。

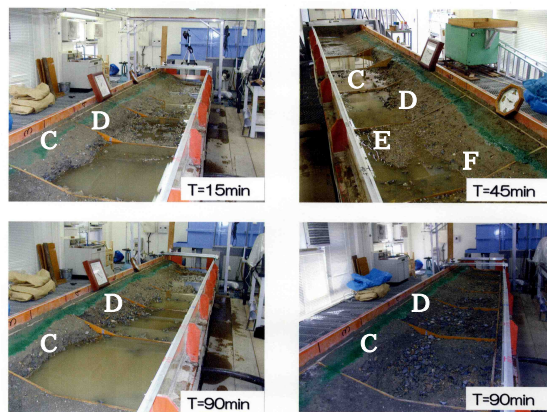


図18 河床及び法面形状の時間変化

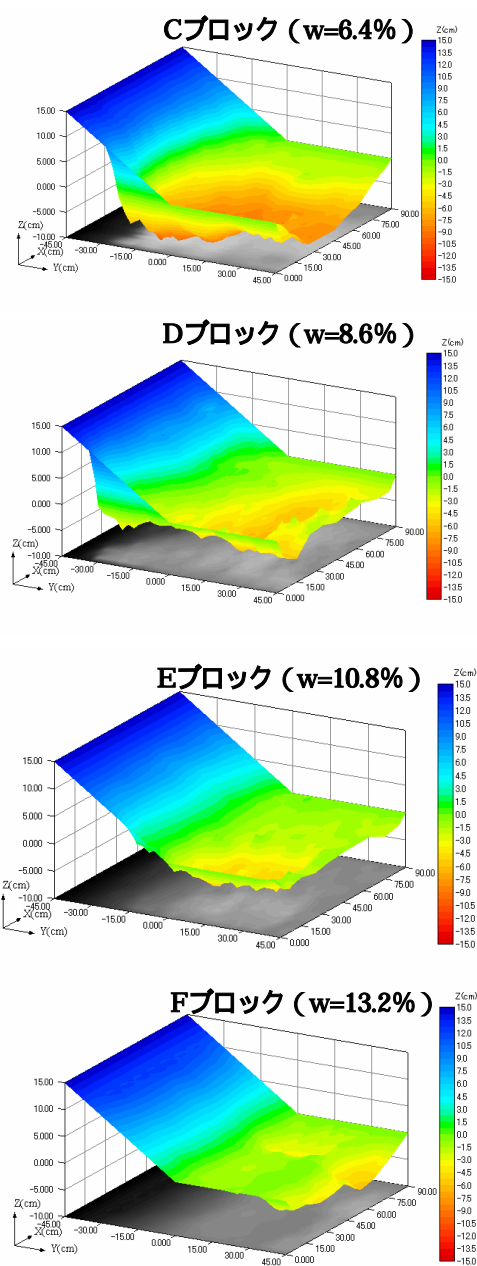


図19 通水終了後の河床形状

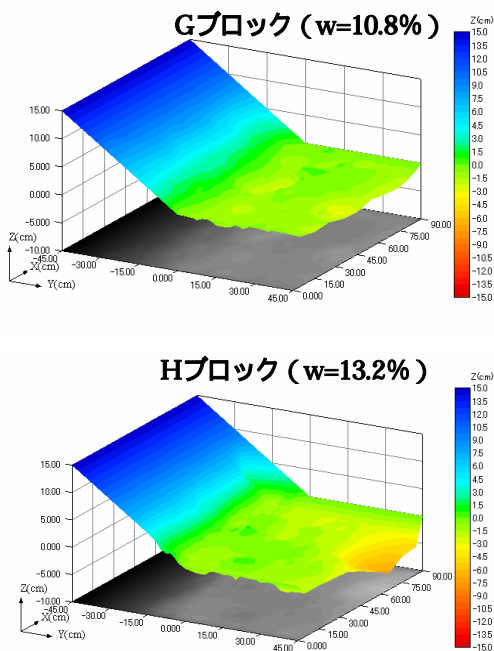


図19 通水終了後の河床形状(続き)

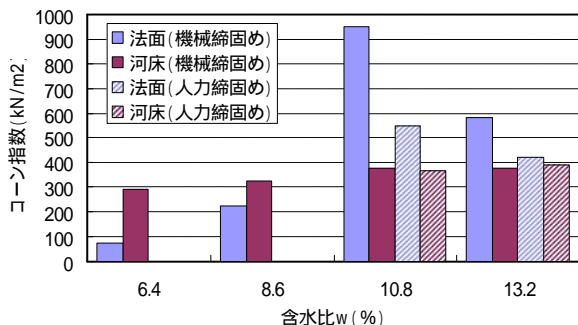


図20 コーンペネトロメータによる貫入試験結果

(2) 締固め時に高強度が得られる供試体は6%の低含水比であり、締固め仕事量が大いほど強度が高く、その効果は試料Bの方が大きい。

(3) 供試体を水浸すると、最適含水比より低含水比の供試体ほど強度低下が大きく、10分間までの水浸により完全に崩壊する。一方、最適含水比より高含水比の供試体の強度低下量は小さくなり、供試体の水浸に伴う安定性も高い。

#### 4.2 石炭灰による改良土の強度及び形状維持特性

(1) 改良土の最大強度は、試料A、試料Bともに含水比約8.0%で160kPaである。石炭灰は供試体の粗大な間隙を埋め、粒子間のバインダーの役割を果たしていると考えられる。

(2) 2週間の養生を行うと、いずれの供試体も強度は4倍以上に増加する。この強度増加は、流動床灰の固化効果によるものである。

(3) 成形後の供試体を水浸すると、ほとんどの供試体は崩壊する。2週間養生後の供試体を水浸すると、供試体の崩壊はほとんど見られない。水浸後の強度は非水浸のものに比べて1/2~1/5に低下するが、なお成型直後の1~2倍の強度を維持している。

#### 4.3 堤体材料の流水に対する耐浸食性

(1) 難透水性材料による高水敷幅0.5m、法面勾配1:3の堤防断面に、水路床勾配1/50、流量0.056m³/sの水利条件で通水した結果、河床洗掘に伴う局所的な水面変動を除いて、ほぼ水路全域で等流状態が得られた。このときの等流水深は0.075m、断面平均流速は1.22m/sである。表面流速は、法面上で0.4~1.2m/s、高水敷上で1.2~1.4m/s程度であった。

(2) 堤体材料の含水比が小さい場合(6.4%及び8.6%)には、通水直後から河床及び法面中央部において浸食による洗掘穴が発達し、その後10~45minの間で法面が崩壊している。浸食を受けた河床面及び法面では、直径2cm以下の細粒分はほとんど流失しており、非粘着性材料と同様の流砂特性を示す。

(3) 含水比が最適含水比より大きい場合には、流速の大きな高水敷上の河床面は時間の経過とともに徐々に浸食されているが、法面部はほとんど浸食を受けていない。これは堤体材料の粘着力の効果によるものであり、本実験の水利条件の範囲内では流水に対する法面部の耐浸食性は十分期待できるものである。

(4) 締固め条件の違いによる浸食量の変化は小さく、堤体材料の浸食特性は主に含水比によって支配されるものと考えられる。

(5) 崩壊した含水比が小さい法面上では、最適含水比以上の堤体材料に比較して、水浸に伴う堤体材料の強度低下が著しく、浸食特性は水浸に伴う強度低下特性と密接に関係している。

#### 参考文献

- 1) 特定非営利活動法人 建設副産物リサイクル促進機構: 堤防強化用盛土材改良検討(その2)業務報告書, pp.85~54, 2005.
- 2) 澤 孝平, 友久誠司, 雀部和男, 厚東敦志, 鈴木一幸: 産業廃棄物を混合した浚渫泥土の有効利用について, 第3回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.33~38, 1999.
- 3) Ichiro Fujita, et al.: Large scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications, Journal of Hydraulic Research, Vol.36, No.3, pp.397~414, 1998.