

補強土河川護岸構造物の破壊実験と試験堤防再構築

森口周二¹ 八嶋厚² 沢田和秀³ 弓良知¹ 前田英史⁴ 松本七保子⁵ 間昭徳⁶

近年、多自然型河づくり、河川法の改正等により、自然生態系の保全を考慮した多自然型河川護岸工法が注目されている。本研究では補強土工法の新しい適用例として、「補強土河川護岸工法」を提案し、その設計・施工法の確立を目的とする。平成12年に実河川において、試験堤防（通水実験1号）を構築し、補強土河川護岸の部分的破壊現象およびその形態を確認した。また、同年9月に発生した東海豪雨により、補強土護岸天端部の侵食、盛土壁面部の吸出しを受けたが、補強土全体の破壊は見られず、補強土河川護岸が構造物として耐久性と護岸性能を有することが確認された。

さらに、通水実験1号で確認された破壊形態をより詳細に把握するために、実大規模の破壊実験を行った。また、現在、通水実験1号および破壊実験の結果をもとに、実河川に通水実験2号を再構築し、長期挙動観測を実施している。

キーワード： 補強土河川護岸、ジオグリッド、破壊実験、長期挙動観測

1. 通水実験1号（試験堤防）

(1) 通水実験1号の概略

平成12年2月、前田工織（株）、三菱化学産資（株）、三井化学産資（株）の3社および岐阜大学において河川補強土研究会を発足し、岐阜県羽島郡川島町地内新境川（北派川）・「河川環境楽園」内「自然共生工法展示場」（図1）にて、補強土河川護岸工法の設計・施工法を確立することを目的とし、試験堤防を構築した。試験堤防は、右岸、5分勾配、区間延長19.2m（小口止め含む）、河床からの高さ2mであり、ジオグリッド（補強材）敷設長及び敷設ピッチの組み合わせにより、上流側からA工区、B工区、C工区の3工区とした。各工区のジオグリッドの敷設長および敷設ピッチを表1に示す。図2に実験施設の外観を示す。A工区、B工区については地山部から河川方向に1.1m盛土をし、C工区については地山部から河川方向に1.5m盛土をした。また、中詰材は基準水位面以上は山砂、水面下は採石とした。ジオグリッドには、ポリエチレン製一軸延伸タイプと、アラミド繊維を芯材とし、ポリエチレンで被覆したタイプの2タイプを用いた（両タイプともに引張り強度は35kN/m相当）。壁面材は5分勾配ユニット（L型鋼製壁面材）を使用した。表面処理については、各工区とも植生シートおよび河川用吸い出し防止材を使用し、各表面処理材の違いによる吸出し、植生繁茂、侵食防止等の様子を観察した。補強盛土部の一体化及び破壊のメカニズム、

表面部の形状変化を把握するために各種計測を行った。施設概要と各種計測機器設置場所は図3および図4に示した。

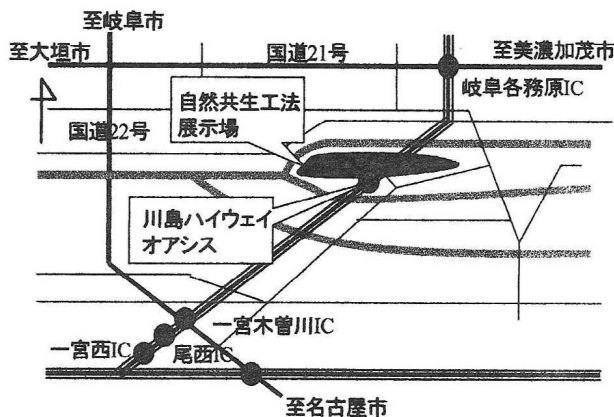


図1 自然共生工法展示場周辺地図

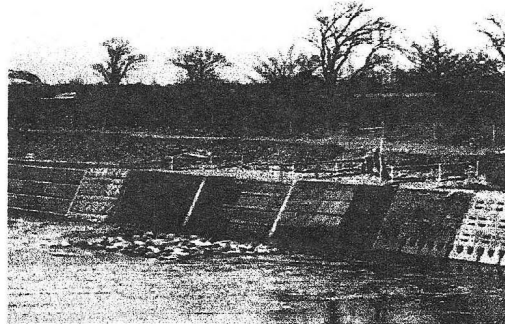


図2 補強土河川護岸の外観

¹学生会員（地盤工学会），岐阜大学大学院工学研究科，生産開発システム工学専攻（〒501-1193 岐阜市柳戸1-1）

²正会員（地盤工学会），岐阜大学工学部社会基盤工学科，教授（〒501-1193 岐阜市柳戸1-1）

³正会員（地盤工学会），岐阜大学工学部社会基盤工学科，助手（〒501-1193 岐阜市柳戸1-1）

⁴前田工織（株），研究開発部

⁵三井化学産資（株），技術部

⁶三菱化学産資（株），土木資材事業部

表1 ジオグリッドの配置(1号)

工区	敷設長 (cm)	敷設ピッチ (cm)
A	100	50
B	100	50
C	150	50

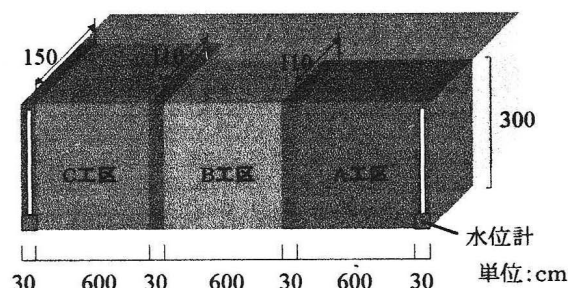


図3 補強土河川護岸施設概要(1号)

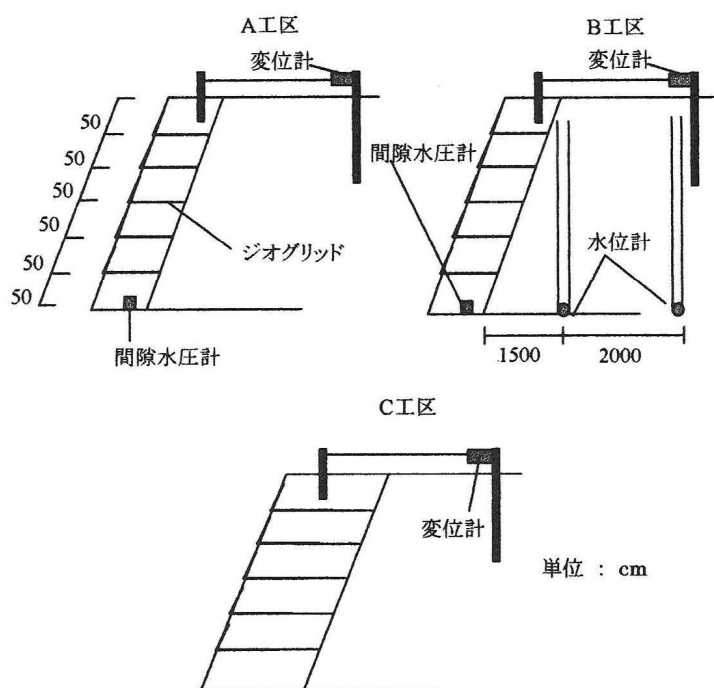


図4 補強土河川護岸横断面

(2) 通水実験1号(試験堤防) 計測結果及び考察

平成12年2月26日から各種計測機器による計測を行った。5月中旬までは全体的に変形しており、これ以降はあまり変形や水位変動が起こっていないことがわかった。変位や変形の続いている状態は盛土自体が圧密進行している状態ではないかと考えられる。4月以降の数回の水位変動により、本実験施設は、壁面部から最大深さ数10cm程度、吸出しを受けた。これを受けて、同年8月に吸出し深さの現場計測を実施した。補強土護岸に10cmメッシュの型枠を張り付け、10cm格子点ごとに護岸に垂直に棒を差し込んで吸出し深さを計測した。各試験区の上流側小口止め部と壁面部の境界面において、深く吸

い出された。A工区55cm、B工区45cm、C工区65cmの最大吸出し深さが計測された。図4に各工区吸出しの見られた部分を、図5に各工区の吸出し深さ分布図を示す。また、図6には吸出し部分の写真を示す。局所的に吸出しが発生した理由として、小口止めと補強土河川護岸の水流抵抗が大きく違うため、小口止め直下流において乱流が発生し、この乱流により中詰材が吸い出されたと考えられる。特に、A工区においては、他の2工区と比較し、大きな吸出しが認められた。これは、A工区上流側小口止め部に設置された計測機器用塩ビパイプにより、より大きな乱流が発生し、これが要因となって大きな吸出し現象が生じたと考えられる。

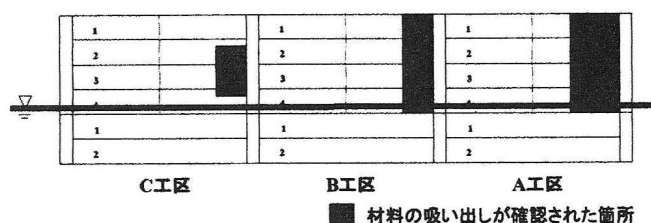


図5 各工区吸出しを受けた小口止め下流部

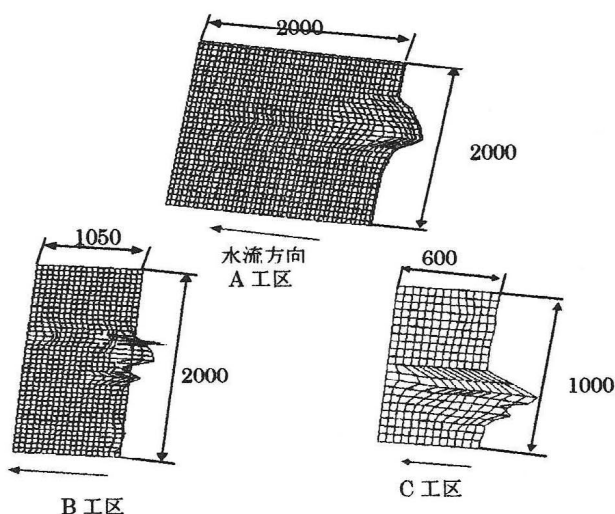


図6 各工区の吸出し深さ分布図

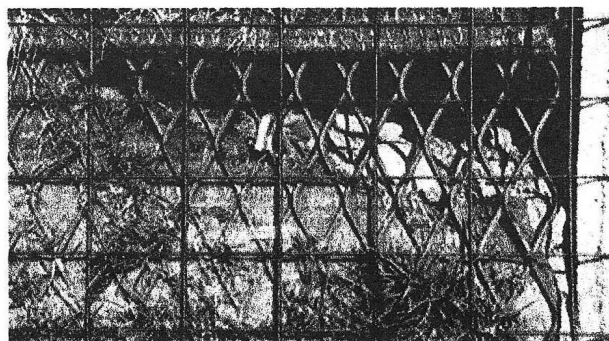


図7 吸出しの様子

(3) 東海豪雨の影響

同年9月11日・12日の東海豪雨により、本実験施設のある「自然共生工法展示場」においても越水が生じ、観測用の各種計測機器が流出するとともに、各工区の盛土天端部の浸食、盛土壁面部において吸出しが拡大するなどの被害を受けたが、構造物全体としての破壊はみられず、補強土河川護岸が構造物としての耐久性と護岸性能を持つことが確認された。また、盛土天端部で大きな侵食を受けたことにより、天端保護工を設置する必要があることが確認された。図7に各工区天端部変形メッシュ図を示す。また、図8には、東海豪雨後の河川護岸の様子を示す。

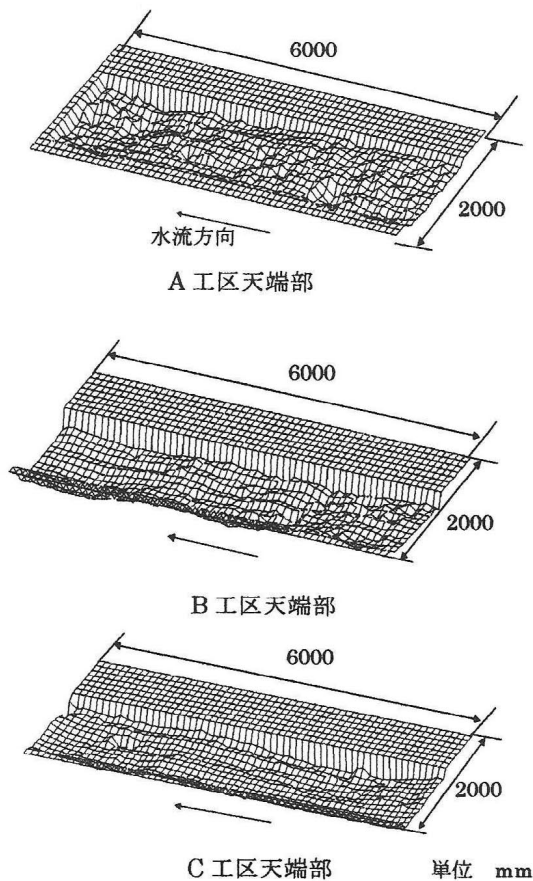


図7 天端部侵食深さ分布図

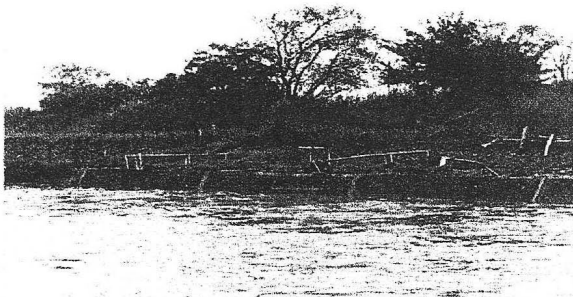


図8 東海豪雨後の河川護岸

2. 実大規模破壊実験

(1) 実験概要

本実験は補強土護岸に対して想定される破壊現象のうち、①背面土圧の増加による補強土構造物の破壊、②河床部の洗掘による補強土構造物の破壊、③河川における転石、流木の補強土構造物壁面への衝突による補強土構造物の破壊、④防護柵への静的荷重の負荷による補強土構造物の破壊、について検証した。本報告では特に、洗掘による補強土構造物の破壊現象のみを取り上げ、補強土河川護岸の局所洗掘による破壊形態について検討している。

洗掘実験施設は、5分勾配、区間延長12mで、下から2段目と3段目の間にジオグリッド（補強材）の横方向敷設を講じないケース1工区とジオグリッドの横方向敷設を講じたケース2工区の2工区を設けた。各実験工区は、直高を3m、根部入れ部を1mとし、地山部から法尻方向に1m盛土をした。ジオグリッドは引張り強度が35（kN/m）相当を使用し、壁面材は5分勾配ユニット（L型鋼製壁面材）を使用した。また、盛土中央下部に、洗掘を再現するために土壌段積み方式を設けた。（図9～14参照）

実験方法は、盛土が洗掘される様子をイメージして、盛土中央下部に前後2段ずつ土壌袋を積み上げておく。それを撤去することで、ケース1工区とケース2工区における補強土構造物の破壊現象の差を観察した。

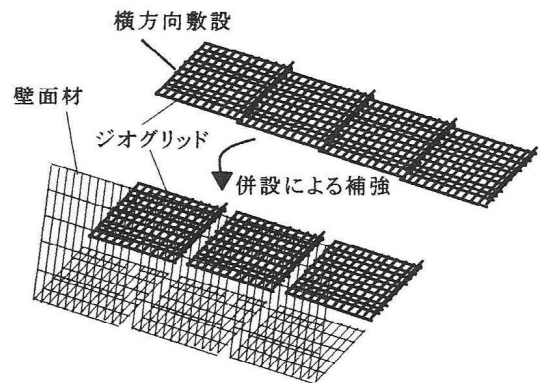


図9 ジオグリッド横方向敷設状況

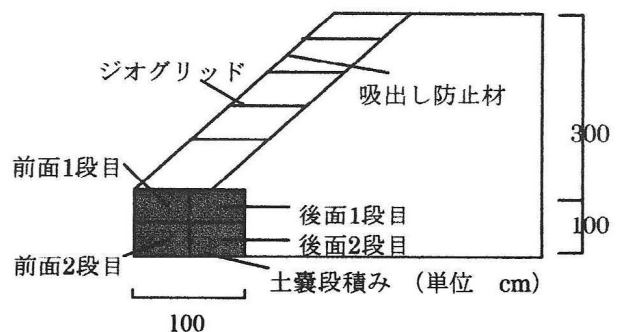


図10 実験施設横断

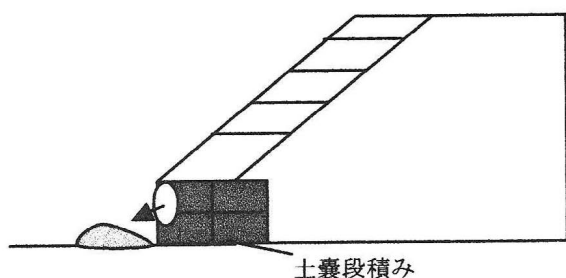


図11 土糞除去方法

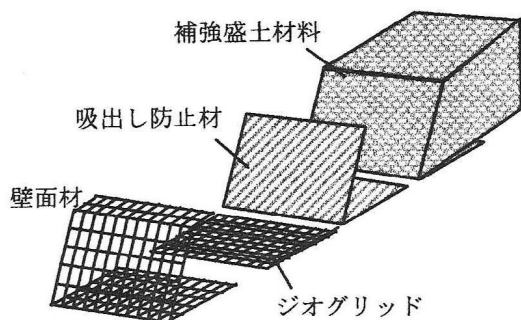


図12 構成図

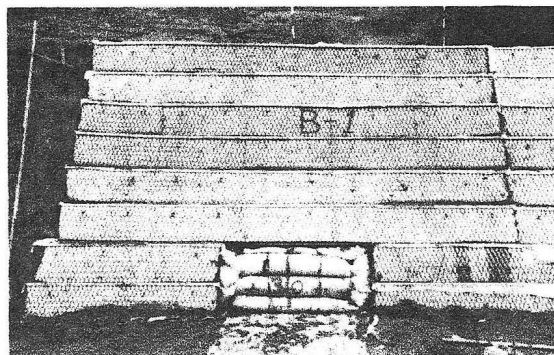


図13 ケース1工区

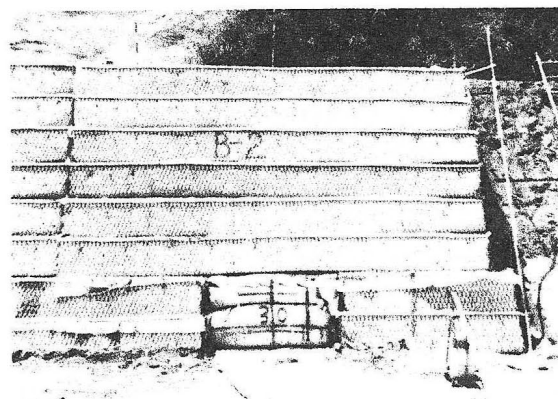


図14 ケース2工区

(2) 実験結果および考察

洗掘実験におけるケース1工区とケース2工区の光波測量を行った。しかし、測定結果から補強土全体の変化はあまりみられなかったため、局所洗掘に

おける補強土全体の変化を洗掘実験時に撮影した写真を用いて観察することにより検証した。ケース1工区の土糞全撤去後の写真を図15に、ケース2工区については図16に示す。

ケース1工区では、土糞を順番に撤去していくと、補強土中央部下部への盛土の落ち込みが激しくなっていくことが確認された。一方、ケース2工区に関しては、土糞を順番に撤去していても、補強土全体に対して、あまり変化がみられないことが確認された。これは、洗掘部上部におけるジオグリッド横方向敷設による補強が、補強土構造物の洗掘による破壊に対して抵抗したためと考えられる。

ケース1工区およびケース2工区において、後面土糞の撤去時に補強土天端部にクラックが確認された。ケース1工区のクラックの様子を図17に、ケース2工区については図18に示す。写真内では、クラックを確認しやすくする為に、クラックに沿ってスプレーで色付けをしている。ケース1工区天端部では、初めに部分的にクラックが発生し、そのクラックから徐々に全体に波及しており、部分的なクラックが段階的に発生することが確認された。これに対し、ケース2工区では、敷設領域内ではクラックが一本の線状になっており、敷設領域全体が一体となって動いていることが確認された。

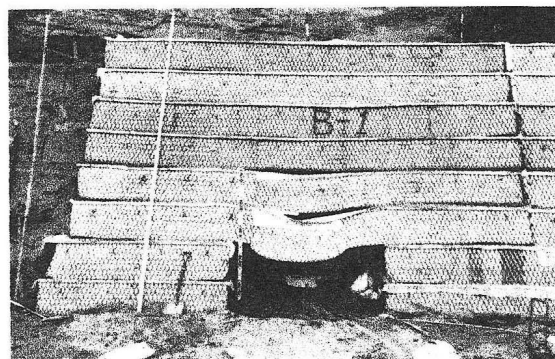


図15 土糞全撤去後（ケース1）

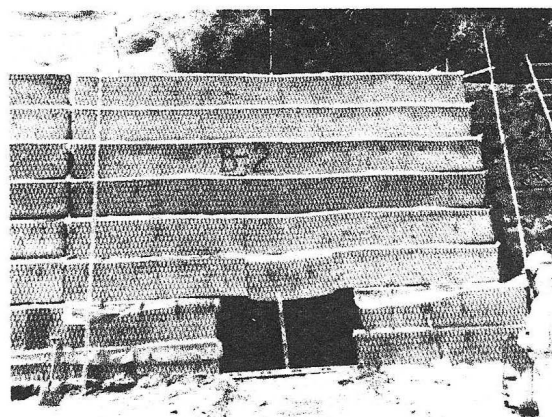


図16 土糞全撤去後（ケース2）

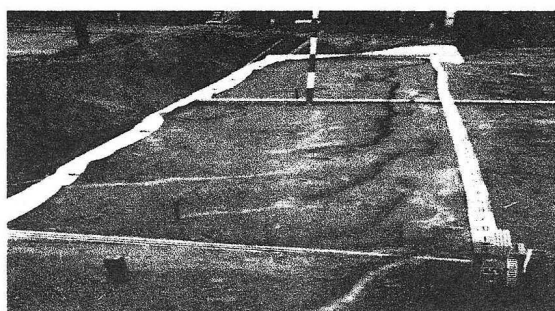


図 17 天端クラック発生状況(ケース 1)

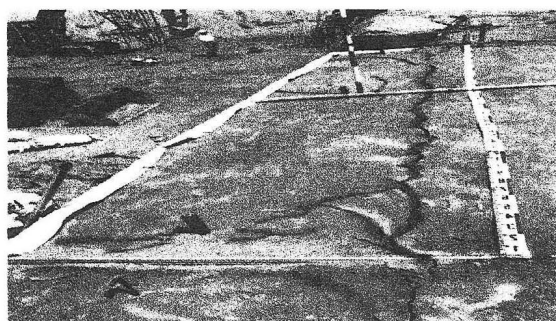


図 18 天端クラック発生状況(ケース 2)

3. 通水実験 2 号 (試験堤防) 再構築

(1) 通水実験 2 号の概略

通水実験 1 号および実大規模実験の結果をもとに、平成 13 年 11 月に通水実験 2 号を再構築した。また、平成 14 年 1 月から各種計測を開始し、長期挙動観測を行っている。1 号と同じく、上流側から、A 工区、B 工区、C 工区の 3 工区を設けた。表面処理材に関しては、1 号と同じく各工区とも植生シートおよび河川用吸出し防止材を使用し、各表面処理材の違いによる吸出し、植生繁茂、侵食防止等の様子を観察する。通水実験 1 号からの変更点は、①1 号で設置していた各工区の境界部の小口止めを廃した、②天端保護工を講じた、③最下段(水面下)底面にはジオグリッドを流れ方向にも併設した、等である。図 19 に通水実験 2 号の構築直後の写真を示す。また、図 20 に実験施設概要図を、表 2 に各工区のジオグリッドの敷設長および敷設ピッチを示す。

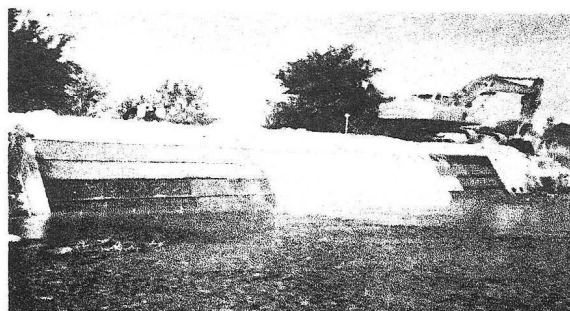


図 19 通水実験 2 号構築直後

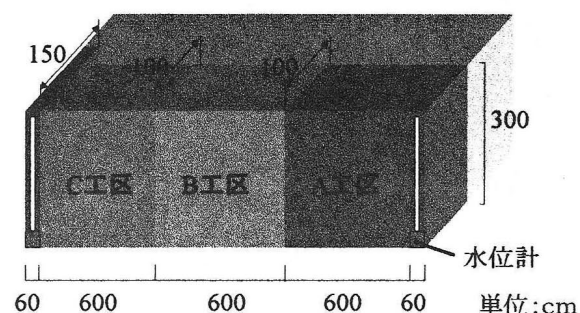


図 3 補強土河川護岸施設概要 (2 号)

表 2 ジオグリッドの配置(2 号)

工区	敷設長 (cm)	敷設ピッチ (cm)
A	100	50
B	100	50
C	100	50

(2) 台風 6 号・7 号 (平成 14 年) による挙動

平成 14 年 6 月末と 7 月上旬に相次いで台風 6 号と 7 号が日本列島に上陸し、各地で大きな被害をもたらした。特に岐阜県では、河川堤防が決壊し、住宅地が広範囲で浸水するなどの被害を受けた。実験施設が設置されている「自然共生工法展示場」では、越水までは至らなかったものの、急激な水位の上昇が確認されている。増水の様子を図 21 に示す。東海豪雨後と同様に、中詰め材の吸出しが発生する恐れがあったため、台風通過後に中詰め材の吸出し状況について調べた。通水実験 1 号では、水流抵抗が大きく異なる部分(小口止め設置部など)で大きな吸出しが見られたため、本調査でもそのような部分を重点的に調査した。図 22 は補強土盛土と隣接区間のコンクリートの擁壁との境目の写真である。この部分も植生で覆われており、写真を撮った際には内部がよく見えるように、表面の植生をかきわけている。図 22 を見て確認できるように、吸出しを受けた様子はなかった。他にも何箇所か調べたが、吸出しを受けている箇所はなかった。この理由として表面に繁茂する植生がクッションとなり、水流によって中詰め材が吸い出されるのを抑制したためであると考えられる。

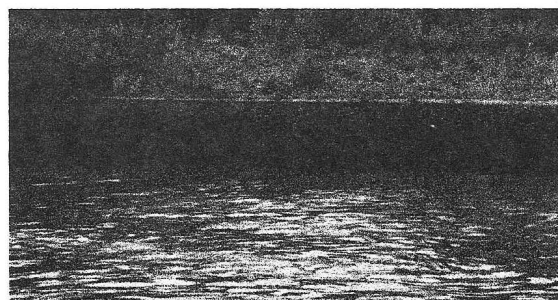


図 21 増水時の様子

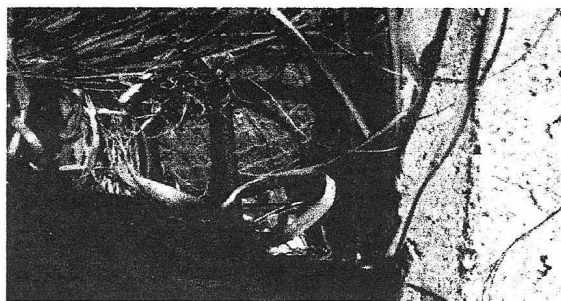


図 22 吸出し状況

(2) 計測結果の考察

現在までに各種計測を行っているが、大きな変動は見られない。ここでは、河川水位と盛土背面の地山内部の水圧の關係に着目して考察する。本実験では、河川河床部に水圧計を設置し、河川水位の変動を観察した。また、地山内部にも水圧計を設置し、地山内部の水位の変動を観察した。図 23 は、河床部水圧と地山内部の水圧の時刻歴を示している。両者の経時変化はほぼ同じ傾向をしていることが確認できる。これは、河川補強土盛土が透水性に優れていることを示唆している。しかし、吸出し防止材や中詰材内部で目詰まりが発生する場合には、河川水位と地山水位に大きな差が生じ、盛土全面と背面に作用する水圧差により、通常時よりも不安定な状態になることも考えられる。このため、残留水圧をあらかじめ設計の段階で考慮する必要がある。

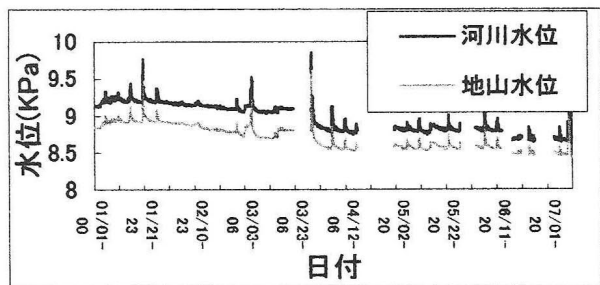


図 23 河床部水圧と地山内部水圧の時刻歴

4. 結論

本研究では、実河川における試験堤防(通水実験1号)の挙動観測、および実大規模の破壊実験から得られた結果をもとに、試験堤防(通水実験2号)を再構築し、その長期挙動観測を行った。以下に現在までに得られた結論を示す。

- 補強度河川護岸において、表面の植生は中詰材の吸出しを抑制する効果がある。
- 越水時の対策として、天端保護工を講じる必要がある。
- ジオグリッド横方向敷設による補強は、補強土盛土の変形の抑制及び一体化に有効な手段である。
- 河川水位と盛土内部の水位の変動には、時間的なずれは見られない。しかしながら、表面処理材で目詰まりが発生する場合には、河川水位と地山水位に大きな水位差が生じ、不安定になると考えられるため、残留水圧をあらかじめ設計の段階で考慮する必要がある。
- 以上の結論をより明確に裏づけるため、データ蓄積、および河川補強度護岸の有効性・問題点について検証するために、今後とも長期的な挙動観測を続けていく必要がある。

参考文献

- 1) A. Yashima K. Sawada, Y. Sato, Y. Fujita, H. Maeda, N. Matsumoto and A. Hazama, Is Kyusyu (2001), Trial construction of the reinforced river dike and its performance, Vol. 1, pp271-276
- 2) 沢田和秀, 八嶋 厚, 佐藤善隆, 藤田裕一郎, 前田英史, 松本七保子, 間 昭徳, 第36回地盤工学研究発表会, 平成13年度発表公演集, pp2087-2088

FULL-SCALE DESTRUCTION EXPERIMENTS AND RECONSTRUCTION OF REINFORCED RIVER DIKE

S. MORIGUCHI, A. YASHIMA, K. SAWADA, T. YUMIRA,
H. MAEDA, N. MATSUMOTO and A. HAZAMA

In this paper, a new method called reinforced river dike is proposed as a new application of soil reinforcement technique. In order to establish design and construction methods for the proposed reinforced river dike, a real-scale field construction and field monitoring were conducted at Shin-Sakai River in Gifu Prefecture, Japan. Then, full-scale destruction experiments were conducted at Awara town in Fukui Prefecture, to investigate failure mechanism of the reinforced river dike. Based on the results from the field monitoring and real-scale destructive experiments, a new reinforced river dike was constructed, and the real-time monitoring of the experiment is on going.