

# 旧吉野川における堤防の耐震対策 ～技術指針の改定に伴う対策工の見直し～

徳島河川国道事務所 工務第一課 細川 壮司  
徳島河川国道事務所 工務第一課 専門官 多田 寛  
徳島河川国道事務所 工務第一課長 矢野 慎二

平成28年に改定された河川堤防の耐震関連基準類<sup>1), 2), 3)</sup>に基づき、旧吉野川下流域の耐震性能照査および耐震対策工の検討・設計を実施した。耐震性能照査においては、沈下量が最大沈下量 $S_{max}$ （堤防高 $H$ の75%に及ぶ沈下量）を超える場合、浮力バネを適用し、 $S_{max}$ 以下となる解析モデルを構築し、対策工の検討に活用した。対策工は、従来一般的に実施されてきた堤防法尻部の対策では所定の耐震性能を満足しないため、堤体直下部への対策を採用した。平成30年度には、中瀬地区（旧吉野川左岸距離標3k/2+130m付近）において、狭隘な施工ヤードにおいても施工可能で、周辺影響の小さい、小型クローラ型施工機による変位低減型の機械撈拌工法を用いた堤体直下の地盤改良工事を実施した。

キーワード 堤防耐震対策、堤体直下改良、機械撈拌工法、小型施工機、変位低減型

## 1. はじめに

旧吉野川沿いの地盤は緩い砂質土を主として構成しているため、地震時には液状化により堤防の沈下が発生しやすい状況となっている。今後30年以内に起こる確率が70%程度と予測されている南海トラフを震源とするマグニチュード8～9クラスの地震により<sup>4)</sup>、津波が発生し、当該地に来襲した場合、堤内地への浸水により甚大な被害が懸念されている。

吉野川水系河川整備計画においては、河川構造物の供用期間中に発生する確率の高い地震動に対する耐震対策を実施するとともに、東南海・南海地震などのプレート境界型の地震等も含め、現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動も想定に加え、保持すべき機能に応じてある程度の損傷を許容することも考慮しつつ河川構造物への影響を検討するものとしている<sup>5)</sup>。

旧吉野川下流域では、「数十年から百数十年に一度程度の発生が想定される規模の津波（レベル1津波）」に対して、堤防の液状化沈下後の高さが不足する区間に対して、耐震対策を推進しており<sup>6)</sup>、対策必要延長 $L=20.7\text{km}$ である。

一方、平成28年3月には、東日本大震災によって得られた知見から、河川堤防の耐震関連基準類が改定され、耐震性能照査方法、対策工の設計方法が見直された。

本稿では、旧吉野川下流域の耐震対策未実施の区間について、改定された基準類に準じて耐震対策の検討・設計を実施した結果および、平成30年度に実施した中瀬地

区の堤防耐震補強工事の概要を報告するとともに、今後の課題等について考察する。

## 2. 堤防の耐震性能照査および耐震対策工の検討

### (1) 河川堤防の耐震関連基準類の改定

耐震性能の照査方法では、東日本大震災からの知見をもとに、液状化による堤体や基礎地盤の沈下量の評価方法の精度向上に対する研究が進み、レベル2地震動、液状化判定法、堤体と基礎地盤の一体的評価による堤防沈下量の評価方法が見直され、平成28年に「河川構造物の耐震性能照査指針（・解説）Ⅱ.堤防編」として策定された。また、耐震性能の点検手順や堤体液状化のスクリーニン

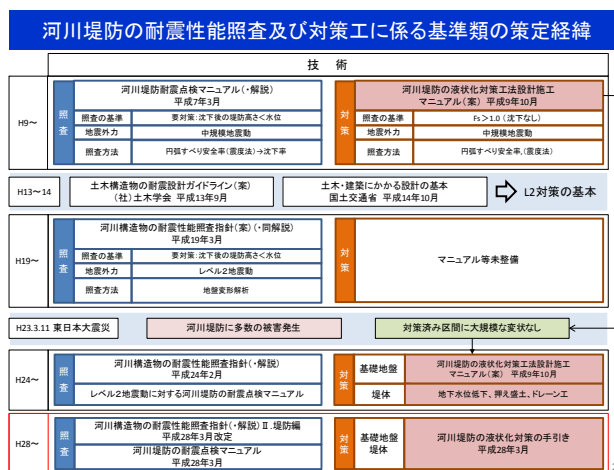


図-1 基準類の策定経緯(出典：土木研究所説明資料)

グ方法が改良され、同年「河川堤防の耐震点検マニュアル」として策定された。

液状化対策工の設計では、上記の指針改定に対応して、レベル2地震動を適用した地盤変形解析による耐震性能評価の導入、および最新の技術動向を踏まえた設計手法の更新がなされ、「河川堤防の液状化対策の手引き」（以下、「手引き」という）として策定された（図-1参照）。

特に、「手引き」の耐震性能評価では、レベル2地震動による地盤変形解析（静的照査法：解析コードALID）を用いて、堤体と基礎地盤を一体的に評価し、残留堤防高が照査外水位を満足することで耐震性能を評価する方法が採用された。これにより、変形の状況に応じた片側対策や堤体直下全面対策の評価も可能になり、液状化対策工の設計の自由度が向上している。

一方で、対策工の設計手法として、地盤変形解析を用いることとなったため、未対策時における沈下量が最大沈下量 $S_{max}$ （堤防高の75%に及ぶ沈下量）以下に収まる解析モデルを設計時に用いることが必要となった。

## (2) 対象箇所の特性

### a) 地質特性

旧吉野川は、もとは入り江であった地域に河川からの土砂堆積により、形成された沖積平野である徳島平野の北部を流下しており、沖積の粘性土および砂質土が互層上に厚く堆積している。基礎地盤下部の砂質土層は、N値が15～20以下と比較的緩く、地震時には液状化が発生しやすい性質を有している。液状化層は10～15m程度の層厚となっており、液状化が発生した場合、堤防の大きな沈下が懸念される。

今回対象とした区間のひとつである旧吉野川左岸3.0k付近に位置する矢倉地区においては、主な液状化層であるA2s層に加え、上部のA1cs層も液状化層であり、液状

化層厚は13.5mとなっている。

### b) 堤防特性

旧吉野川下流域の堤防は、河口～1.4k：高潮区間、1.4k～旧吉野川河口堰（3.4k）：特殊堤区間となっており、いずれもパラペット式特殊堤により整備されてきている。旧吉野川河口堰までの想定津波高は、計画堤防高よりは低いものの、計画高水位よりも高く、許容沈下量（パラペット考慮）が30～50cm程度と非常に小さいという特徴を有している。

また、堤防の沈下を考慮しなくても土堤部分のみでは津波の越流を防止することはできいため、パラペット部分により津波の越流を防止する必要がある。

### c) 基準類改定前の耐震対策

平成28年の基準類改定前においても堤防耐震対策が進められており、鋼材を用いた対策や締固め工法、固結工法などによる堤防法尻部への対策が実施されてきた。また、土堤部分を越える津波に対して、堤防天端へのL型擁壁の設置による津波波力に対する対策も合わせて実施されてきた。

### (3) 耐震性能照査

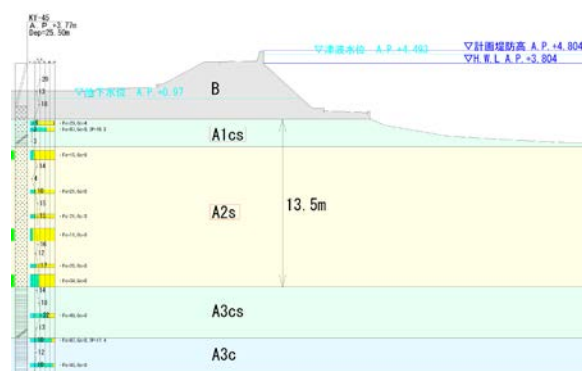
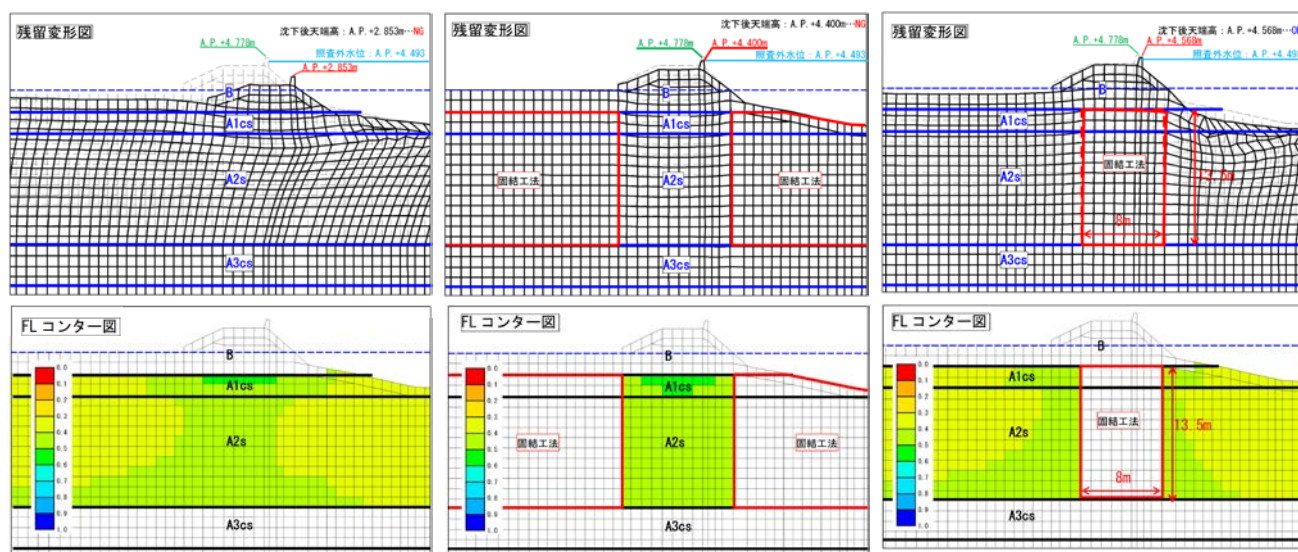


図-2 堤防地質横断面図（矢倉地区：左岸3.0k付近）



(a) 現況（浮力補正バネあり）

(b) 法尻対策（NG）

(c) 直下対策（OK）

図-3 地盤変形解析結果

ここでは、対象区間の一例として矢倉地区について示す。地盤変形解析（静的照査法：解析コードALID）による耐震性能照査を実施した結果、沈下後の堤防高は照査外水位（想定津波高）を下回り、所定の耐震性能を満足しない結果となった。また、当初のモデルでは沈下量が最大沈下量（0.75H）を超えたため、「手引き」に基づき、浮力補正バネを考慮することで、設計に適用可能な最大沈下量以下に収まるモデルを構築した（図-4(a)参照）。

#### 【照査条件】

- ・地盤種別 : III種地盤
- ・地域区分 : A2
- ・設計水平震度 : 0.40
- ・照査外水位 : A.P.+4.493m

#### 【照査結果】

##### ○浮力補正バネなし（当初モデル）

- ・沈下後堤防高 : A.P.+1.81m < A.P.+4.493m (NG)
- ・沈下量 : 3.00m (沈下率88% > 75%)  
→設計モデルとして適用不可

##### ○浮力補正バネあり

- ・沈下後堤防高 : A.P.+2.85m < A.P.+4.493m (NG)
- ・沈下量 : 1.98m (沈下率58% ≤ 75%)  
→設計モデルとして適用可能

#### (4) 耐震対策工の検討

改定された基準に基づいて対策を検討すると、従来より実施されてきた堤防法尻対策より堤防直下対策のほうが優位であると示唆されている<sup>7)</sup>。一方で、法尻対策は、現況堤防への影響や施工上の支障が小さいため、直下対策に先んじて適用される。従って、地盤変形解析を用いてまず法尻への対策の適用性を検討し、適用できない場合は直下対策を検討する方針とした。

##### a) 法尻対策の検討

法尻対策は構造上の安定性を確保できる諸元に対して地盤変形解析により耐震性能を確保するために必要な範囲をトライアル計算で求めるものであるが、最大限の対策を疑似的に表現することで適用可能か否かを検討した。具体的には、解析上、堤防の法尻より川表・川裏側の地盤を全て地盤改良し、非液状化層になったものと仮定し、解析を実施した。その結果、堤体が直下の液状化層に沈みこむような変形モードとなり、沈下後の堤防高が照査外水位を下回り、耐震性能を満足できない結果となった（図-4(b)参照）。

##### b) 直下対策の検討

「手引き」において対策範囲は、法尻付近を改良範囲に含めることが原則とされているため、堤内地盤より高い位置にある部分を「堤体」、堤内地盤を水平に延長したラインと川表法面の交差する点を「川表法尻」に設定し、設定した法尻位置を含む範囲を直下対策の範囲として検討を行った。その結果、川表法尻を含む最小範囲

( $B=0.6H=0.6 \times 13.5\text{m}=8.1\text{m} \rightarrow 8\text{m}$ ) にて沈下後の堤防高が照査外水位を上回り、耐震性能を満足する結果となった（図-4(c)参照）。なお、ここでは比較検討のなかで優位となった固結工法の結果について示している。

##### c) 浸透安全性の確認

対策前後の浸透安全性を検討し、現況に対して有意な安全性の低下は見られないことを確認した。

##### d) パラペット部の波圧対策

堤体直下を地盤改良するにあたり、既設護岸を一時的に撤去することから、復旧工事に合せ、護岸を鉄筋構造とすることにより、津波波圧に対して耐力を有する構造とした。

### 3. 堤防耐震補強工事（中瀬箇所）

#### (1) 中瀬箇所耐震対策工事の概要

中瀬箇所は旧吉野川左岸距離標3k2+130m付近に位置している。旧吉野川堰直下に位置しており、平成5年頃から整備事業等は実施していない。従って、現代の耐震基準は満足されない。そこで、吉野川水系河川整備計画に基づき堤防耐震補強を実施する（図-6参照）。

本工事では、地盤改良の施工に低変位性と経済性に優れたCI-CMC-HA工法を採用する。しかし、施工時に支障となる既設堤防を開削をする。その後、地盤改良を施し、堤防を既設通りに復旧する。この工法は吉野川水系では、初の施工事例であり、本工事で試験的に実施された内容である。今後は、本工事の完成を受け、旧吉野川周辺の堤防に本工法を適用する予定である。

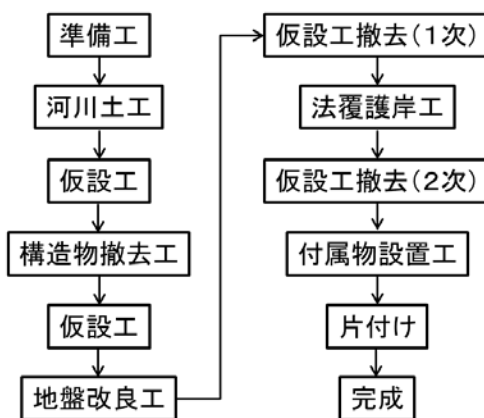


図-4 中瀬耐震対策施工フロー

#### (2) 地盤改良について

旧吉野川流域には、徳島県を代表する企業等が工場を建設している箇所が多くあり、河川水を利用していることから、河川と地物の距離が近い。従って、現状の堤防位置を後退させる事は困難である。また、出水期の流量を考慮すると、川幅を減少させるような計画は望まれ

ない。従って、このような環境では、既設の堤防位置を変化させず堤防耐震対策工を実施する事が望まれる。そこで、本工法にて施工する事となった。また、他の手法として挙げられるのは、既設堤防上から高圧噴射攪拌にて施工する工法である。どちらも変位影響は少ないが、高圧噴射攪拌を採用した場合は、コスト面では大幅な増加となる。



図-5 既設堤防開削状況



図-6 CI-CMC-HA実施状況



図-7 地盤改良完了



図-8 施工完了

#### 4. おわりに

東日本大震災を教訓に河川堤防の耐震性能については新たな知見が追加された。従って、堤防の耐震性能向上を目指す動きが進み、直下対策の検討等、堤防に関する耐震性能の手引き等は大きく見直されつつある。

しかし、実際には、周辺環境やコストなど様々な制約条件が発生している。そのため、3章で示した工法に試行しているが、出水期の施工ができない事が施工上の課題として挙げられる。そこで、仮設工等の施工スピードを向上させる等の工夫をする事で対策する必要がある。

現時点で、堤防の耐震対策として取り組める工法として、徳島河川国道事務所では今後複数箇所にて、施工予定である。このような事例が今後の堤防耐震対策に資する事を期待する。

**謝辞：** 国立研究開発法人土木研究所（地質・地盤研究グループ）には、解析モデル作成方法、対策工の設定方法など、細部にわたるご指導をいただきました。ここに感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針・解説Ⅱ堤防編、2016.
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川堤防の耐震点検マニュアル、2016.
- 3) 国立研究開発法人 土木研究所 地質・地盤研究グループ土質・振動チーム：土木研究所資料 河川堤防の液状化対策の手引き、2016.
- 4) 四国地方整備局 四国地震防災基本戦略  
<https://www.skr.mlit.go.jp/kikaku/senryaku/pdf/H30kihonsenryaku/01.pdf>
- 5) 国土交通省四国地方整備局：吉野川水系河川整備計画、2009.
- 6) 国土交通省四国地方整備局：四国技報 第12巻24号、2013.
- 7) 国土交通省四国地方整備局：吉野川の地震・津波対策の進め方に対する評価手法について、2017