

# 河川構造物の耐震性能照査の取り組み

国土交通省 中部地方整備局

河川部 ○竹内 宏

川嶋 浩一

水谷 好伸

## 1. はじめに

河川構造物の耐震点検・耐震対策については、1995年兵庫県南部地震や中央防災会議等における東海地震、東南海・南海地震等の大規模地震に関する検討結果を踏まえ、2007年に国土交通省が「河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説」<sup>1)</sup>（以下「指針（案）」という。）を策定し、大規模地震動（レベル2地震動）に対する河川構造物の耐震性能を明確にするとともに、耐震性能の照査について規定している。

本報告は、指針（案）を踏まえた中部地方整備局管内における耐震性能照査の実施状況、ならびに堤防の耐震性能照査の具体事例を示したものである。

## 2. 堤防の耐震性能照査における基本的な考え方

河川構造物の耐震設計は、従来、「建設省河川砂防技術基準（案）同解説・設計編」<sup>2)</sup>に基づいて実施されるとともに、1995年兵庫県南部地震を契機として、河川構造物の耐震点検・耐震対策が鋭意進められ、耐震性の向上に寄与してきた。一方、近年、中央防災会議等において東海地震や東南海・南海地震等の大規模地震に関する新たな検討結果が公表されるとともに、「土木構造物の耐震設計ガイドライン（案）」<sup>3)</sup>「土木・建築にかかる設計の基本」<sup>4)</sup>では、設計地震動や耐震性能、また、その照査方法等を含め、今後の耐震設計の方向性が示唆されている。

指針（案）は、上記のような背景を踏まえ、従来の耐震設計で考慮されていた設計震度に相当するレベルの地震動に加え、対象地点において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レベル2地震動に対する河川構造物の耐震性能の照査について規定したものである。震度法による従来の耐震設計では、一般に、地震を受けても構造物が弾性範囲内にとどまり、損傷の発生を認めないことを前提とする場合が多いが、非常に強い地震動であるレベル2地震動に対しては、損傷の発生をまったく認めないのではなく、保持すべき機能に応じてある程度の損傷を許容する方が合理的である。そこで、指針（案）では河川構造物に必要とされる耐震性能を確保することを前提にした上で、一定の損傷の発生を許容している場合がある。指針（案）は、堤防、自立式構造の特殊堤、水門・樋門及び堰並びに揚排水機場の耐震性能の照査に適用することとされており、前記以外の河川構造物についても、その機能、構造形式等に応じて、指針（案）を準用することができる。とされている。

指針（案）における堤防の耐震性能についての基本的な考え方は、表-1のとおりである。過去の震災事例を踏まえ、堤防被害は液状化に伴うものが顕著であるとの認識から、その液状化に伴う変形量を比較的簡易に算定できる“静的変形解析”により算定し、変形後でも照査外水位（平常時最高水位<sup>6)</sup>）を上回る堤防高さを確保できていることを、評価基準とする考え方を採用している。

表-1 堤防の耐震性能照査方法<sup>6)に一部修正</sup>

項目	指針（案）
耐震評価基準	沈下後堤防高>照査外水位 ・原則として、地震の影響として液状化の影響を考慮 ・照査外水位の試算を代表河川で実施 ・静的変形解析で沈下後の堤防高を算出
耐震評価手法	静的変形解析(ALID、東畑 <sup>7)</sup> が基本
耐震評価手法に関して	一般堤防は、全国にある数多くの堤防を対象としていることから、比較的簡易に直接変位量を評価できる静的変形解析を用いる

### 3. 耐震性能照査の実施状況

中部地方整備局では13の一級水系(河川法第9条第2項の規定による指定区間を除く)を管理している。管内の河川は、近い将来の発生が想定される東海、東南海地震による影響が懸念される地域に位置するため、河川構造物の耐震点検・耐震対策の重要度は高い。

中部地方整備局では、耐震性能を確保できない場合の影響が大きい構造物から優先的に指針(案)に基づく耐震性能照査を鋭意実施している。堤防についての耐震性能照査実施状況を図-1に示す。

耐震性能照査の対象となる堤防延長は約350kmであり、2010年度末までに約320km(91%)の耐震性能照査を完了しており、そのうち約25kmについては、2011年度末を目途に照査を完了する予定である。また、堤防以外の河川管理施設(可動堰、水門・樋門、揚排水機場等)については、対象施設数が約500あり、2010年度末までに優先度の高い34施設の耐震性能照査を完了している。

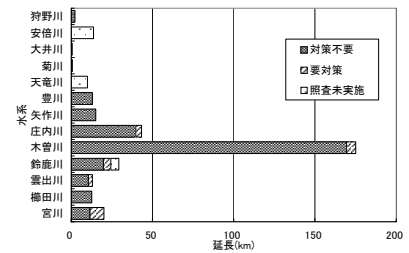


図-1 堤防L2照査実施状況

### 4. 耐震性能照査の具体事例

堤防の耐震性能照査については、河川特性を反映することにより照査精度の向上が図られると考えられる。本報告では、中部地方整備局管内で実施した耐震性能照査の具体事例を3例紹介する。

#### (1) 庄内川

庄内川はその源を岐阜県恵那市の夕立山(標高727m)に発し、岐阜県内では土岐川と呼ばれ、瑞浪市で小里川、土岐市で妻木川、多治見市で笠原川等の支川を合わせ、岐阜、愛知県境に位置する玉野溪谷を抜け、春日井市高蔵寺で濃尾平野に出て、その後、矢田川等の支川を合わせて名古屋市の北西部を流下し、伊勢湾に注ぐ、幹川流路延長96km、流域面積1,010km<sup>2</sup>の一級河川である。

図-2に、庄内川中流域の地形・地質の概略模式図を示す。庄内川の上流側は、鳥居松段丘、熱田台地・大曾根段丘の間を流れ、矢田川が合流する辺りから下流部で、氾濫平野・三角州が形成されている。また、過去にこの合流点付近で人工的に南側へ蛇行させられており、堤防が破堤すると西側の広い範囲が浸水し大災害となる。

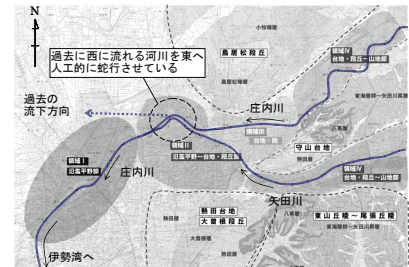


図-2 地形・地質の概略図

この付近の土層縦断面図を図-3に示す。B層、Aus層、Auc層、Aug層が複雑に入り組んでおり、また、D5g層の深度が緩やかに変化している。これは、過去に河川の氾濫が繰り返された堆積環境の反映、もしくは、人工的に河道が動かされたことによる影響と考えられる。このような複雑な地層構成を呈している一方で、ボーリング調査間隔が最大で約280mも離れていた。このため、耐震性能照査にあたっては、高精度表面波探査を実施し、ボーリングデータを補間することとした。

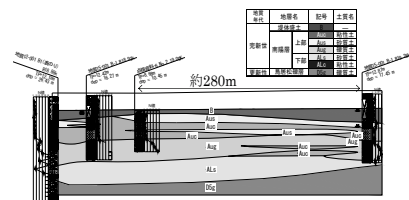


図-3 土層縦断面図  
(庄内川右岸19.0km付近)

高精度表面波探査は、人工的に起こした表面波を複数の受振器で計測し、表面波の波長(周波数)による伝播速度の違い(分散)を逆解析することにより、不均質な地盤のS波速度構造を画像化するものである。従来の表面波探査では、一次元の深度方向のS波速度構造のみが得られるものであったが、この点を改良し、二次元のS波速度構造が把握できるようにしたことから、「高精度」と呼ばれている。図-4にその概念図を示す。

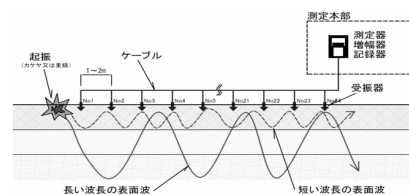


図-4 表面波探査の概念図

図-5に、当初想定していた土層縦断面図と高精度表面波探査結果を分析して作成したS波速度のコンター図を示す。調査前の土層と対比すると、D5g層の盛り上がり、Aug層およびAls層の物性値の変化、表層付近の物性値の変化が確認された。この区間では、19.0kの断面で上記解析結果を反映した静的変形解析(ALID)を実施することにより、耐震性能照査の精度向上を図ることができた。

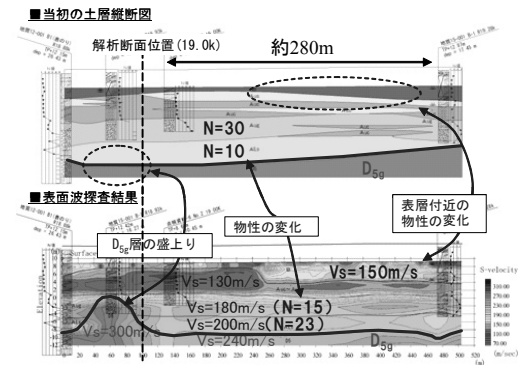


図-5 土層縦断面図と高精度表面波探査の比較

## (2) 木曾川

木曾川水系は、長野県木曾郡木祖村の鉢盛山（標高 2,446m）を源とする木曾川と、岐阜県郡上市の大日ヶ岳（標高 1,709m）を源とする長良川、岐阜県揖斐郡揖斐川町の冠山（標高 1,257m）を源とする揖斐川の 3 河川を幹川とし、山地では峡谷をなし、それぞれ濃尾平野を南流し、我が国最大規模の海拔ゼロメートル地帯を貫き、伊勢湾に注ぐ、流域面積 9,100km<sup>2</sup> の我が国でも有数の大河川である。地域では、これら 3 河川を木曾三川と呼んでいる。

木曾三川下流部は、氾濫平野、三角州、干拓地に相当しており、検討対象区間（高潮堤防区間）のほとんどは、干拓地である。濃尾平野は、美濃帯（中～古生層）、花崗岩類を基盤岩とし、これを、東海層群（新生代新第三紀）が不整合に覆い、さらに新生代第四紀の海部・弥富累層、熱田層、濃尾層（以上、更新世）、南陽層（完新世）などが覆っている。木曾三川下流部の基礎地盤断面模式図を図-6 に示す。

木曾三川下流部の検討対象区間においては、F<sub>L</sub> 値が 0.6 を下回る区間があり、静的変形解析(ALID)による耐震性能照査では、沈下量が堤防高の 2 倍程度となり過度に安全側の評価となった。このため、地震動の特性（振幅、周期、継続時間等）を反映した結果を得ることができる動的変形解析を用いて耐震性能照査を行った。

動的変形解析では入力地震動波形が必要となる。プレート境界型の大規模な地震を想定したレベル 2-1 地震動に対する照査では、東海地震および東南海地震の連動地震を対象とし、照査箇所を入力地震動波形を求めた。地震動の伝播順序および地震動の予測方法の模式図を図-7 に示す。震源断層から基盤の伝搬については、強震動予測法 EMPR を用いて算定した。基盤から工学的地震基盤の伝搬については、翠川の式<sup>7)</sup>を用いて振幅調整倍率を算定した。また、内陸直下地震を想定したレベル 2-2 地震動の波形は、指針（案）に示された標準スペクトルに合わせて調整された 3 波形を用いることとした。

動的変形解析(LIQA)によるレベル 2-1 地震動の解析結果、この区間では沈下後の堤防高が外水位を上回る結果となり、耐震性能を満たすことが確認された。しかし、堤防天端の沈下量が 2m 程度であり、法覆工が破断・破損することが推定されるため、地震後に堤防本来の機能を早急に復旧するための方策が必要であると考えられる。

## (3) 矢作川

矢作川は、その源を中央アルプス南端の長野県下伊那郡大川入山（標高 1,908m）に発し、飯田洞川・名倉川等の支川を合わせて愛知、岐阜県境の山岳地帯を貫流し、平野部で巴川、乙川を合わせて、その後、矢作

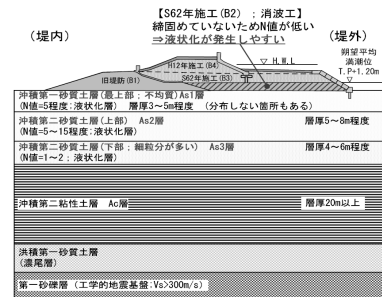


図-6 木曾三川下流部の基礎地盤断面模式図

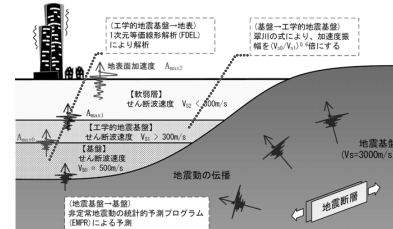


図-7 地震動の伝播順序および地震動の予測方法の模式図

古川を分派して三河湾に注ぐ、幹川流路延長 118km、流域面積 1,830km<sup>2</sup> の一級河川である。

矢作川は、砂河川で下流域には広く砂層が分布しており、また下流域の堤内地は、そのほとんどが干拓地となっている。図-8 に矢作川下流部（右岸 1.0k）の基礎地盤断面図を示す。As1 層、As2 層は、花崗岩類の風化によって形成された砂層であると推定される。

静的変形解析（ALID）による耐震性能照査の結果、一般堤防（土堤）区間においては、堤防沈下後の天端高が照査外水位を上回っていることが確認された。しかし、高潮の影響を受ける区間は、パラペット構造の三面張り特殊堤となっており、RC 構造の被覆工が地震時の土堤の沈下・変位にほとんど追従できないため、耐震性能は高くない。むしろ、パラペットは地震被災後の津波に対して全く機能しないと考えるべきである。

堤防の耐震対策工としては、地盤改良による液状化防止が考えられるが、一般的に大規模工事となりコストも高いことが多い。また、特殊堤の耐震性能を勘案すると、液状化による沈下高をごく僅かに抑える必要があり、レベル 2 地震動への耐震対策としては現実的ではないと考えられる。そこで、三面張り構造の特殊堤の耐震対策方法として、その主体構造である土堤の沈下・変位に追従可能な“柔構造の法覆工を有する特殊堤”の検討を実施した。対策として適用が考えられる“柔構造の法覆工を有する特殊堤”の例を図-9 に示す。

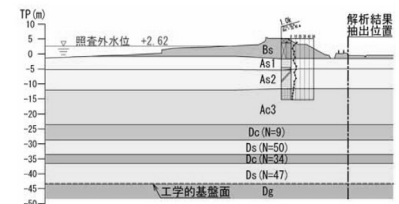


図-8 基礎地盤断面図

（矢作川右岸1.0k）

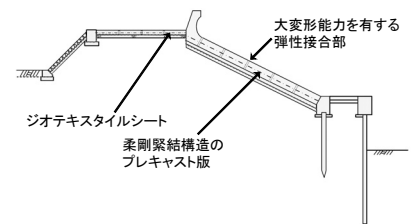


図-9 柔構造の法覆工を

有する特殊堤の例

## 5. まとめ

河川構造物の耐震点検・耐震対策については指針（案）が策定されている。本報告は、指針（案）を踏まえた中部地方整備局管内における耐震点検・耐震対策の実施状況、ならびに堤防の耐震性能照査の具体事例を示した。

庄内川においては、複雑な地層構成であるにもかかわらず、ボーリング調査間隔が、最大で 280m 程度も離れてしまっている区間について、高精度表面波探査によりボーリングデータを補完することにより、耐震性能照査の精度向上を図った。木曾川においては、 $F_L$  値が 0.6 を下回り静的解析手法の適用が困難な区間について、動的解析手法（LIQCA）による耐震性能照査を実施した。また、矢作川においては、三面張り構造の特殊堤の耐震対策方法として、その主体構造である土堤の沈下・変位に追従可能な“柔構造の法覆工を有する特殊堤”の検討を実施した。

## 参考文献

- 1)国土交通省 河川局治水課（2007）：河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説
- 2)（財）日本河川協会（1997）：建設省河川砂防技術基準（案）同解説・設計編
- 3)（社）土木学会（2000）：土木構造物の耐震設計ガイドライン（案）
- 4)国土交通省（2001）：土木・建築にかかる設計の基本
- 5)国土交通省 河川局（2006）：河川構造物の耐震性能照査の試行に関する説明会 資料-1,p.13.
- 6)財団法人 国土技術研究センター（2007）：河川構造物の耐震性能照査において考慮する河川における平常時の最高水位の算定の手引き（案）,pp.15-36.
- 7)司宏俊・翠川三郎（1999）：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 523 号, pp.63-70