

高規格堤防の効率的な耐震対策について

Efficient seismic resistance of Super-levees

研究第一部 主任研究員 森 洋
研究第一部 次 長 勢田 昌功
応 用 地 質 (株) 大河原 孝

高規格堤防は、その特別区域において堤防整備後も通常の土地利用が行われる。このため、地震に対して宅地造成地盤と同程度の耐震機能を有する必要があり、効率的な耐震対策が求められる。また、一般堤防（土堤）を含めた河川構造物の大規模地震動（レベル2地震動）に対する耐震性能照査指針（案）の編集が進められており、高規格堤防においても同様の耐震性能照査の検討と評価手法の確立が急務となっている。

本報告では、高規格堤防整備事業における耐震対策の効率的な実施に向け、多角的な側面から幅広く検討を行うと共に、レベル2地震動対応における耐震性能規定等の整理も行った。この結果、効率的な耐震対策実施の検討では、従来の設計思想（円弧すべり計算手法）に代わる新しい評価方法である動的変形解析手法の導入、固化工法による堤防直下部への斜め型地盤改良工法の適用、ならびに、施策面では堤内地側の一部用地を取得して耐震対策を縮小する施策等によるコスト縮減の可能性を示した。レベル2地震動対応における耐震性能規定の検討では、過去の被害報告事例に関する参考文献等から終局限界状態と見なせる地表面の限界傾斜角を検討し、同時に、動的変形解析手法に必要な工学的基盤面におけるレベル2地震動波形（プレート境界型タイプⅠ・内陸直下型タイプⅡ）の策定を行った。

キーワード：高規格堤防、動的変形解析、耐震対策、地盤改良、用地買収、レベル2地震動

Super-levees (high-standard levees) allow normal land use in super-levee special zones even after levee construction. Super-levees, therefore, need to have seismic resistance comparable to that of the foundation ground of a housing development site, and effective seismic strengthening is needed. Work is also underway to edit a guideline for the verification of the seismic performance of river structures including conventional levees (earthen dikes) against strong earthquake motion (Level-2 earthquake motion), and there is an urgent need for similar studies on seismic performance verification for super-levees and the establishment of an evaluation method.

This paper reports on a multi-faceted study of ways to achieve efficient seismic resistance in super levee projects and reviews seismic performance regulations against Level-2 earthquake motion. The study on efficient seismic strengthening indicated the possibility of (1) the introduction of the dynamic deformation analysis method, a new evaluation method to replace the conventional design philosophy (circular slip surface method), (2) the application of an inclined injection method of ground improvement by which to solidify the ground directly under a levee, and (3) reduction of seismic resistance cost achieved by, for example, acquiring part of the land on the land-side of the levee. In the study on seismic performance regulations for Level-2 earthquake motion, the limit inclination angle of ground surface that can be regarded as an ultimate limit state was determined by reference to reported cases of damage, and the input wave of Level-2 earthquake motion (interplate earthquake, Type-I; inland near-field earthquake, Type-II) at the engineering sub-surface necessary for the dynamic deformation analysis method were determined.

Key words : super-levee, dynamic deformation analysis, seismic resistance, ground improvement, land acquisition, Level-2 earthquake motion

1. 調査研究の背景と目的

一般的な土構造物の耐震性評価では、震度法に基づいた円弧すべり計算手法による安全率評価が広く適用されている。しかし、従来より円弧すべり計算手法は安全側の設計思想であることが指摘されており、より現実に即した耐震設計思想の確立や合理的な耐震設計手法の検討が求められている状況にある。

特に、高規格堤防（スーパー堤防）は一般堤防と異なり、堤防整備後も堤防上で通常の土地利用（宅地利用など）が行われることから、一般堤防以上の耐震機能の確保が求められ、地盤改良等の効率的な耐震対策が大きな課題となっている。そのため、従来の設計思想に代わる新しい耐震評価手法の導入が、効率的な耐震対策を検討する上において大きな要素の一つになると考えられる。また、一般堤防（土堤）を含めた河川構造物の大規模地震動（レベル2地震動）に対する耐震性能照査指針（案）の編集が進められていることから、高規格堤防においても同様の耐震性能照査の検討と評価手法の確立が急務となっている。

本報告では、高規格堤防整備事業における効率的な耐震対策に向け、設計面・施工面・施策面等から幅広く検討を行うと共に、レベル2地震動対応における耐震性能規定等の整理も行った。

2. 耐震対策費用と対象地盤条件

現在整備中の高規格堤防整備地区（27地区を選出）の総事業費に対する液状化対策費の割合は12%程度であり、全体の地盤改良費（液状化対策費+圧密沈下対策費）に対する液状化対策費の割合は約92%を占めている（図-1を参照）。そのため、効率的な液状化対策の検討が、地盤改良費全体のコスト縮減につながる可能性があると考えられる。

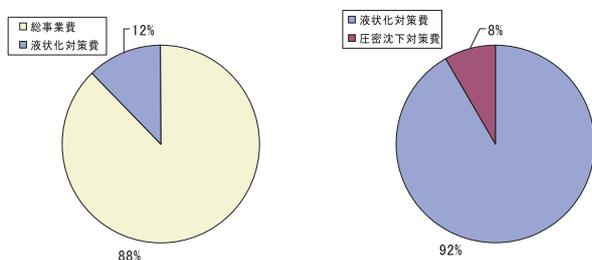
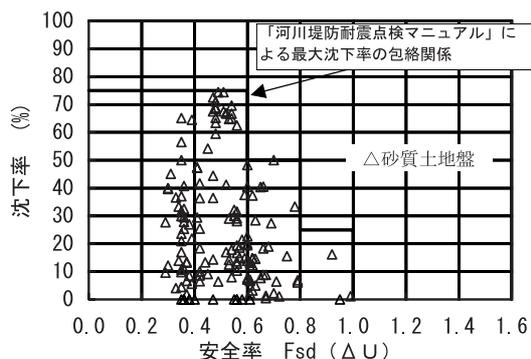


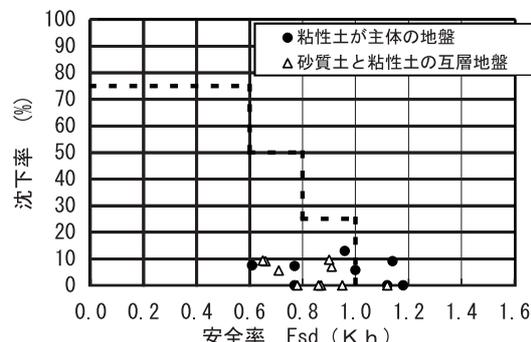
図-1 液状化対策費

図-2には、一般堤防（土堤）の基礎地盤条件が異なる場合（液状化の恐れのある地盤とない地盤）における過去の地震被害・無被害事例を、震度法による円弧すべり計算手法（kh法・ Δu 法）より事後解析して得られた安全率と被害実測による堤防天端部の沈下率

の関係で示した¹⁾。液状化の恐れがない粘性土が主な地盤構成となっている場合、すべり破壊による堤防の被災事例はごく少なく、甚大な被害を与える堤防基礎地盤の多くは砂質土地盤の液状化によるものであることが分かる。



Δu 法による安全率と沈下率（砂質土地盤）



kh法による安全率と沈下率（主に粘性土地盤）

図-2 一般堤防における地震被害事例

以上より、今後検討する効率的な耐震対策は、液状化対策を必要とする砂質土地盤を対象としたモデル地盤で行うことが効果的であると考えられる。

3. 標準断面モデルの設定

効率的な耐震対策に向けて検討すべき標準断面モデルを設定する。液状化層厚の設定として、高規格堤防整備地区の対象6河川の地質縦断面図を200m間隔で読み取り、N値が20以下の沖積砂層厚の整理を行ったものを図-3に示す。液状化層厚が7.5m以下の地域は全体の約70%を占めているが、7.5~12.5mの液状化層厚は全河川に分布していることから、安全側の評価を考慮して標準断面モデルの液状化層厚を10mとした。また、沖積低地は地表付近に砂層、その下に軟弱な粘性土の地層構成を有している特徴があり、その代表断面として平成7年の兵庫県南部地震で甚大な被害を受けた西島地区（淀川）における地層断面を採用した。

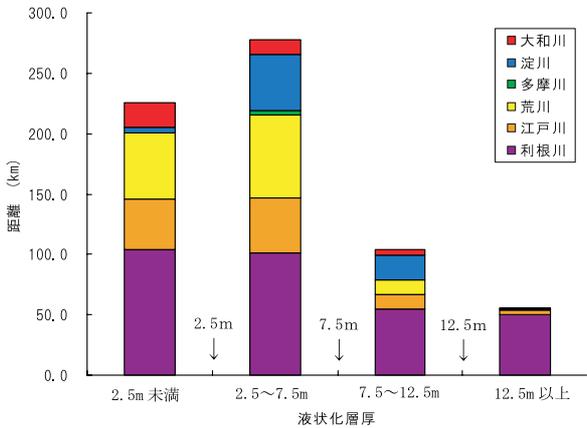


図-3 河川延長200m毎に整理した液状化層厚

液状化強度 ($\sigma_d/2\sigma_{co}'$) は、図-4に示す淀川、江戸川、荒川における液状化試験結果から液状化パラメータ (R_{L20}) を設定した。しかし、繰返し回数 (N) に対する液状化強度のバラツキが大きいため、検討すべき液状化強度パラメータを最小値 ($R_{L20}=0.16$: シミュレーション1) と中間値 ($R_{L20}=0.30$: シミュレーション2) の2ケースとした。

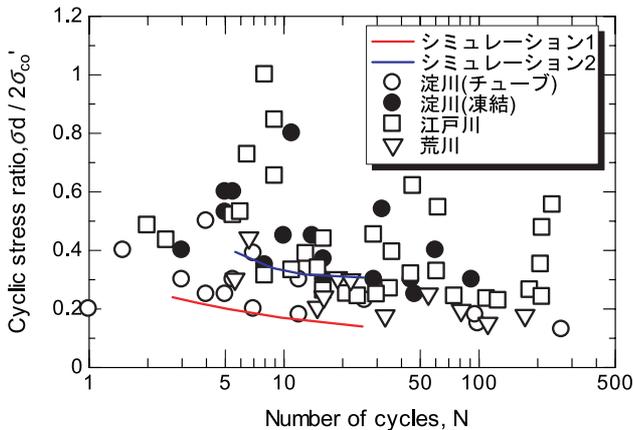


図-4 液状化試験結果

図-5には、液状化層厚を10mとした場合の動的変形解析手法で用いる標準断面モデルを示す。材料物性値は西島地区での地質調査結果や、過去、多くの研究者によって検討された解析結果等を参考にして、盛土部では湿潤密度が 17.6kN/m^3 、内部摩擦角が 35° 、粘着力が 5kN/m^2 、液状化地盤(砂質土地盤)では湿潤密度が 18.6kN/m^3 、内部摩擦角が 37° 、変相角が 28° 、非液状化地盤(粘性土地盤)では湿潤密度が 15.7kN/m^3 、粘着力が 210kN/m^2 と想定した。また、ポアソン比と履歴減衰上限値は一律0.333と0.18と仮定した。



図-5 標準断面モデル (有限要素モデル)

4. 動的変形解析手法の適用性の検討

標準断面モデル (液状化層厚10m) に対する液状化層厚等の影響を検討するため、液状化層厚を3ケース (5m・10m・15m)、ならびに、液状化強度 (R_{L20}) を2ケース (0.16・0.30) とした場合の動的変形解析 (コードネーム: FLIP) 結果を図-6に、その解析ケースに対応させた Δu 法による円弧すべり計算結果を表-1に示した。また、所定の安全率 (1.2) を満足させるために必要な対策規模 (Case4) としての改良体の物性値は粘着力で 196kN/m^2 としている。動的変形解析に用いた工学的基盤面における入力波形は「高規格堤防盛土設計・施工マニュアル、リバーフロント整備センター、H.12」に従い、八戸波形 (150gal) を採用している。

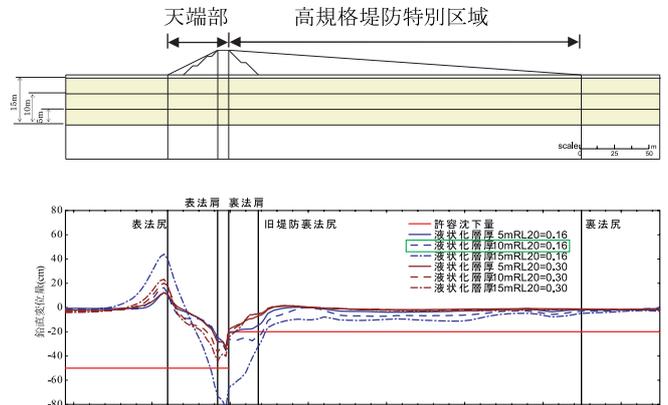


図-6 動的変形解析結果

表-1 円弧すべり計算 (Δu 法) 結果

| 層厚 | 計算条件 | 安全率 | 改良幅 |
|-----|----------------------------------|-------|-----|
| 5m | Case1: 常時 | 3.061 | |
| | Case2: 地震時 ($R_{L20}=0.30$ の場合) | 2.501 | |
| | Case3: 地震時 ($R_{L20}=0.16$ の場合) | 0.230 | |
| | Case4: Case3 での対策規模 | 1.398 | 3m |
| 10m | Case1: 常時 | 3.057 | |
| | Case2: 地震時 ($R_{L20}=0.30$ の場合) | 1.854 | |
| | Case3: 地震時 ($R_{L20}=0.16$ の場合) | 0.069 | |
| | Case4: Case3 での対策規模 | 1.267 | 7m |
| 15m | Case1: 常時 | 3.057 | |
| | Case2: 地震時 ($R_{L20}=0.30$ の場合) | 1.714 | |
| | Case3: 地震時 ($R_{L20}=0.16$ の場合) | 0.032 | |
| | Case4: Case3 での対策規模 | 1.207 | 9m |

地震時における $R_{L20}=0.30$ の場合 (Case2) では、全ての液状化層厚に対して所定の安全率1.2を確保しており、図-6で示した動的変形解析結果より得られる地表面の鉛直変位量も規定の許容残留変位量 (堤防天端部50cm・高規格堤防特別区域20cm) を満足する結果

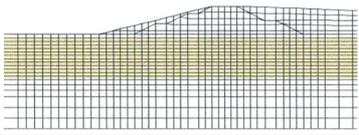
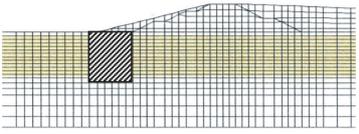
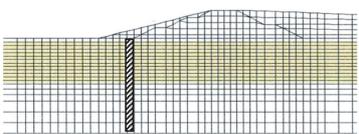
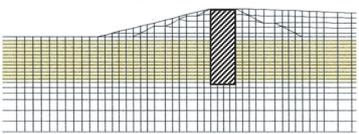
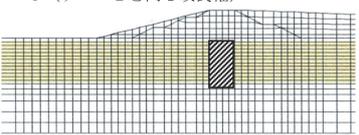
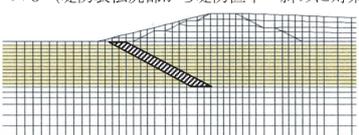
となった。一方、 $R_{L20}=0.16$ の場合（Case3：赤字で表示）では、全ての液状化層厚に対して所定の安全率を確保することはなく、特に液状化層厚が15mの場合では鉛直変位量が大きくなり、液状化層厚が解析結果に大きく影響することが予想される。また、所定の許容残留変位量を満足しない部分は既設堤防裏法部付近に集中しており、その後背部の特別区域においてはほとんど許容値を満足している。ただし、液状化層厚が比較的薄い場合（液状化層厚5m）では、 Δu 法による所定の安全率を満足しなくとも、動的変形解析より得られる変位量は許容残留変位量を満足する。この動的変形解析の結果のみから地盤改良の必要性を判断すれば、液状化層厚が5m未満の基礎地盤条件であれば地盤改良が不要となる。液状化層厚が5m未満となる区間を図-3に示す液状化層厚の整理結果から見ると、液状化対象区間全体の約50%がその不要区間に該当することが考えられる。

5. 地盤改良（固化）工法の検討

高規格堤防は、既設堤防の堤内地側に幅広く盛土を行うものであるため、例えばグラベルドレーン工法を代表とする間隙水圧消散工法では地震時での排水処理の問題、サンドコンパクション工法を代表とする締固め工法では周辺への振動・騒音や中間土への適用性の問題等、実用上の課題があり採用しづらいつと考えられる。一方、深層混合処理工法を代表とする固化工法では、側方流動等の影響をも考慮した地盤改良工法を検討した場合、改良地盤部の強度を上昇させ周辺地盤部の変形（側方流動）抑止にも効果的であると同時に、多くの施工実績や様々な技術開発が行われているため、効率的な耐震対策の可能性が大きいと考えられる。

表-2には、固化工法により地盤改良を行った場合の動的変形解析結果を示した。堤体内に改良体を入れたケース4や既設堤防直下に改良体を設置するケース5は堤防の構造や施工法に課題があるが、ここでは解析結果に及ぼす影響等を把握するために解析を実施した

表-2 改良体設置位置の検討結果

| 検討ケース（改良体設置条件） | 改良体積 (m^3/m) | 最大沈下量(cm) | | 検討結果 | コスト削減 の見込み | 備考 | 適用の 可能性 |
|--|------------------------|------------------|------------------|---|---|---|------------|
| | | 許容沈下量 50cmの範囲 | 許容沈下量 20cmの範囲 | | | | |
| ケース1（無対策）  | — | 35 | 36 | — | — | — | — |
| ケース2（通常の固化工法）  | 132 幅 12m 深度 11m | 19 | 18 | — | — | — | ◎ |
| ケース3（ケース2の2倍の強度で改良長は基礎まで）  | 48 幅 2m 深度 24m | 51 | 36 | 改良強度・改良長の効果を期待したが、ケース2のような堤内地側への流動に伴う変位抑制効果は発揮できなかった。 | さらに、数m程度の改良幅増を考慮しても、解析結果から推測するとケース2と同等の効果は期待できず、コスト削減の見込みは薄いと考える。 | — | × |
| ケース4（ケース2とほぼ同体積）  | 133 幅 7m 深度 19m | 40 | 37 | 改良体と盛土の境界部（堤外法肩位置付近）で許容値を上回る変位量が生じ、ケース2と同等の効果は得られなかった。 | ケース2と同程度の改良体積でありながら、左記のような結果であったことから、コスト削減の見込みは薄いと考える。 | 堤体内に異物を入れることとなり、改良体と堤体盛土の境界部（堤外法肩位置付近）にクラックが生じ、水みちとなる可能性がある。 | × |
| ケース5（ケース2と同じ改良幅）  | 77 幅 7m 深度 11m | 52 | 23 | ケース2の6割程度の改良体積でありながら、許容値をわずかに上回る程度であり、河川特別区域内における沈下量の差はケース2と比較しての5cm程度であった。 | 改良費用と既設堤防の一時撤去費用との兼ね合いにより、コスト削減の可能性があると考える。 | 安定している既設堤防を工事することになることから現実的には難しいが、高規格堤防整備に伴い、既設堤防の法線が大きく変更される場合などには適用可能である。 | △ |
| ケース6（堤防表法尻部から堤防直下へ斜めに対策）  | 68 深度 11m | 27 | 18 | ケース2よりも小さい対策規模でありながら、許容値を満足する結果となった。 | 対策規模のみから考えると、コスト削減の可能性があると考える。 | 河川堤防に対しては施工実績がなく、改良体自身の健全性に関する実験的検証が必要である。 | ○ |

ものである。通常施工されている堤防表法尻部での地盤改良ケース（ケース2）と比較してコスト縮減の可能性のあるケースは、既設堤防直下に改良体を設置する場合（ケース5）と堤防表法尻部から堤防直下部へ斜めに対策する場合（ケース6）であった。特に、効率的な改良体設置条件はケース6となるが、改良体自身の健全性（地下水位変動や上載荷重の影響など）の確保を現場等で確認する必要がある。

6. 堤防裏法部の土地利用制限と用地買収の検討
 - 暫定堤防による変位挙動の検討も含めて -

図-6に示した動的変形解析結果より、許容残留変位量を満足しない範囲が既設堤防裏法区間に限定できるため、必要に応じて一部用地買収を行い、既設堤防裏法部の土地利用制限を行うことにより耐震対策を不要とし、コスト縮減につながる事が考えられる。この考えから、高規格堤防整備地区沿川の地価についての整理を行い、各沿川地価と地盤改良費用の比較検討による事業費削減の可能性を検討した。

図-7には検討対象とする断面モデルを示した。この暫定断面モデルの横断方向の長さ（50m・100m）と裏法面端部構造（暫定法面〔土羽〕・擁壁構造物）は、

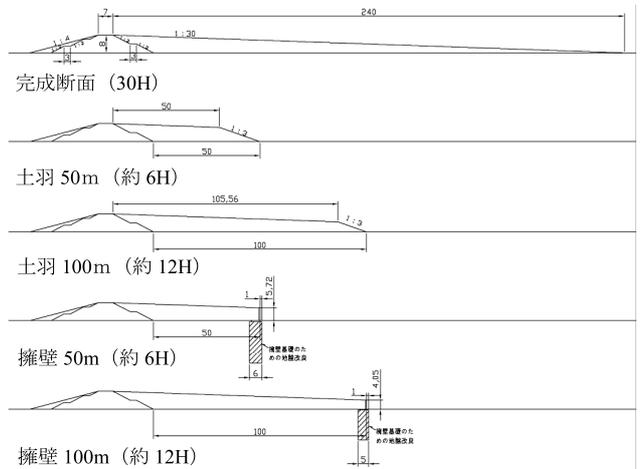


図-7 検討断面モデル（暫定堤防）

表-3 地盤改良対策費用（想定）

| | |
|-------------------|------------|
| 地盤改良深度 | 10m |
| 地盤改良幅 | 5m |
| 改良体直径1mあたりの想定工事単価 | 12,800円/m |
| 堤防縦断方向1mあたりの工事費 | 640,000円/m |

暫定断面で整備されている約60地区を対象として河川横断方向の暫定堤防幅と裏法面端部構造の整理を行っ

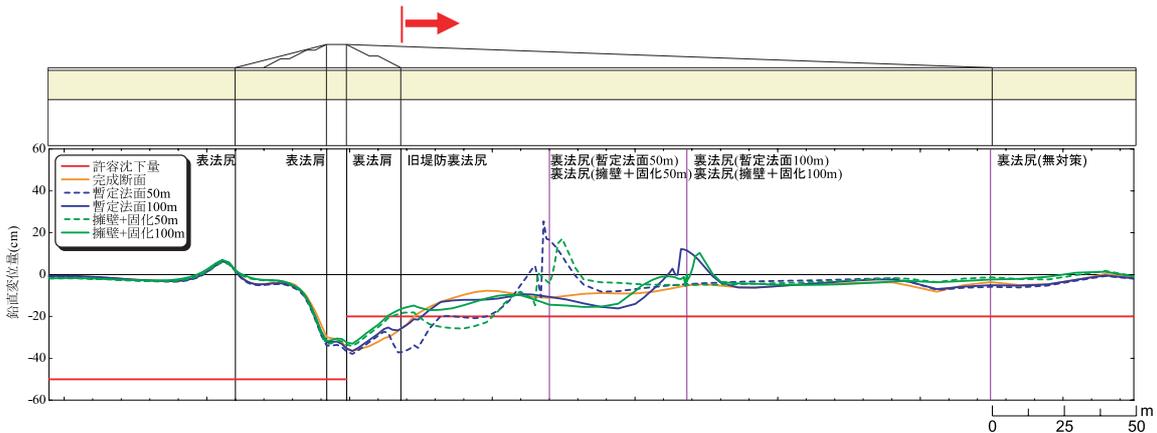


図-8 動的変形解析結果（完成断面および暫定断面）

表-4 地盤改良策費用で買収できる幅

| 事務所名 | 平均金額 (千円/m ²) | 地盤改良費 で買収できる 幅 (m) | 参考：図-8において許容値を満足しない範囲 (既設堤防裏法尻から堤内地側) | | | | |
|-------|------------------------------|--------------------------|--|------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| | | | 完成 断面 (30H) | 暫定断面 | | | |
| | | | | 土羽 50m (約 6H) | 土羽 100m (約 12H) | 擁壁 50m (約 6H) | 擁壁 100m (約 12H) |
| 荒下 | 171.4 | 3.7 | 4m | 14m | 6m | 28m | 0m |
| 荒上 | 33.0 | 19.4 | | | | | |
| 利根下 | 16.0 | 40.0 | | | | | |
| 利根上 | 17.5 | 36.6 | | | | | |
| 江戸川-下 | 144.7 | 4.4 | | | | | |
| 江戸川-上 | 29.0 | 22.1 | | | | | |
| 多摩川 | 200.3 | 3.2 | | | | | |
| 大和川 | 93.0 | 6.9 | | | | | |
| 淀川 | 116.6 | 5.5 | | | | | |

H(堤防高) = 8m

た結果、比較的施工実績頻度が高いものを設定した。また、表-3には今回検討する事業費削減の可能性に関して比較対象となる地盤改良対策費用（想定）を示した。

表-4には、各河川沿いにおける地価の平均金額と、表-3に示した地盤改良対策費用相当で買収できる土地（民地部分）の横断方向幅、ならびに、図-8に示した各検討断面の動的変形解析より得られた所定の許容残留変位量（20cm）を満足しない範囲を示した。なお、表-4に示した地価は表示地点が最も多い「固定資産税路線価等」よりまとめたものである。完成断面モデルで許容値を満足しない範囲は4m程度であり、どの河川沿いの地価でも地盤改良対策として必要な費用内ではほぼ用地買収が可能である。ただし、暫定断面モデルでは地盤の変状挙動が複雑で、特に盛土幅が狭い場合（約6H）では比較的沿川土地が廉価な河川地域（例えば、荒川上流・利根川下流・利根川上流・江戸川上流）に限定すれば、地盤改良対策として必要な費用内で買収が可能である。そのため、耐震対策を行うことなく既設堤防裏法部分の土地利用制限と一部用地買収を組み合わせた方策が、全体の事業費削減につながるケースがあることが考えられる。

7. レベル2地震動対応に向けての検討

7-1 レベル2地震動対応の耐震機能の整理

レベル2地震動（大規模地震動）に対応する耐震機能整理として、通常の土地利用がなされる高規格堤防特別区域内で検討を行った。

表-5には、「宅地耐震設計マニュアル(案)、都市基盤整備公団、H.14」や「建築基礎構造設計指針、日本建築学会、H.13」、ならびに、既に国土交通省より示されている「土木・建築にかかる設計の基本、H.14」等を参考にして、レベル1地震動（中規模地震動）対応をも含めた高規格堤防の基本性能（案）を、また、図-9には耐震性能照査フロー（案）を示した。修復限界とは常時対応における健全性確保を基本とする使用限界と安全性確保を基本とする終局限界の間に位置付けられる限界状態であり、原則として地震発生後に堤防盛土やその上にある建物の持つ機能を短期間で継続的な使用が可能となる状態をいう。また、終局限界で示されている「人命に対する安全性等の確保」とは、堤防盛土の崩壊やその上にある建物の倒壊等により直接人命に危害を与えることや、地盤の液状化により建物に甚大な被害を与えるような地盤の変形を許容しないとされた要求水準である。

宅地造成地盤に関する主な指針類の改訂が、平成7

表-5 高規格堤防の基本性能（案）

| 地震規模 | 性能 | 限界状態 | 要求性能 |
|---------------------|-----|------|--|
| レベル1地震動 (中規模地震動) | 継続性 | 修復限界 | 地震により想定される作用により生ずることが予測される損傷に対して、適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用を可能とすることができる限界の状態。 |
| レベル2地震動 (大規模地震動) | 安全性 | 終局限界 | 地震により想定される作用により生ずることが予測される破壊や大変形等に対して、構造物の安定性が損なわれず、その内外の人命に対する安全性等を確保しうる限界の状態。 |

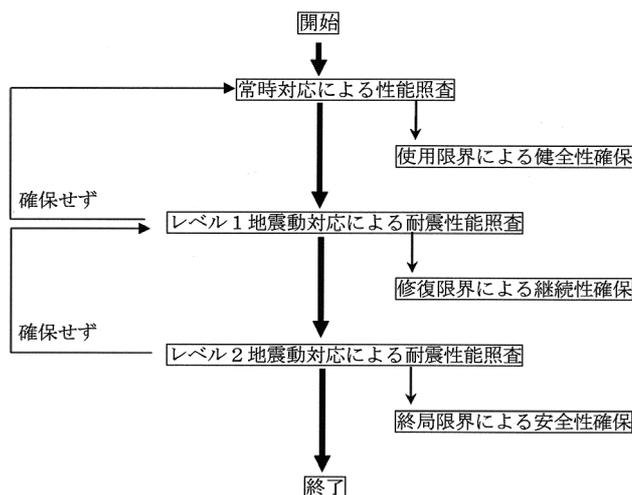


図-9 高規格堤防の耐震性能照査フロー（案）

表-6 被災時での建物倒壊の建築基礎の限界傾斜角に関しての整理結果

| 著者名 | 建物形式 | 限界傾斜角 (radian) | 被害規模 (建築基礎) | 地震名 |
|-------------|------|----------------|---------------|---------|
| 東京都 | 中層建物 | 44/1000 以上 | 大破 | 新潟地震 |
| Kishida, H. | 中層建物 | 40/1000 以上 | 大被害 (大修理必要) | 新潟地震 |
| 日本建築防災協会 | 中層建物 | 13~33/1000 以上 | 大破 | 兵庫県南部地震 |
| 芦屋市 | 戸建住宅 | 50/1000 以上 | 全壊 | 兵庫県南部地震 |
| 安田ら | 戸建住宅 | 22.5/1000 程度以上 | 全壊 | 鳥取県西部地震 |
| 日本建築学会 | 戸建住宅 | 15/1000 以上 | 最終段階(倒壊の危険あり) | - |
| 安田ら | 戸建住宅 | 37.5/1000 | 測定時の最大傾斜 | 鳥取県西部地震 |
| 藤井ら | 戸建住宅 | 100/1000 | 測定時の最大傾斜 | 兵庫県南部地震 |

年の兵庫県南部地震以降行われているが、地震時における評価基準を定量的な値で示したものはない。さらに、実際の地震によって高規格堤防盛土が被災した事例は報告されていないことから、今後、設計基準に導入される予定のレベル2地震動対応における終局限界状態の目安値を把握しておく必要性はある。特に、建物の倒壊要因となる極端な不同沈下（傾斜角）に至らないことを確認する方向で、終局限界に着目した住宅被害に関する過去の文献²⁾等から建築基礎の限界傾斜角を整理したものを表-6に示した。ただし、液状化が直接的な原因となって人命を失った事例が見当たらないことを考慮すれば、表-6で示されている被害規模

における大破や全壊等では人命損失を伴わないとしていることに注意を要する。現在、耐震性評価手法として用いている動的変形解析による傾斜角算出の予測精度には限界があるが、表-6で示した過去の被害結果より、例えば、20/1000~40/1000程度の傾斜角が高規格堤防特別区域における目安値とすることが案の一つとなる。また、住宅地以外の公園・緑地等は現在対策を行っていないため、別途検討する必要がある。

平成17年度に改訂された「軟弱地盤技術指針、都市再生機構、H.17」では、戸建住宅と戸建住宅以外の集合住宅部での圧密沈下の目標値を区別して取り扱うように明記されており、戸建住宅にとっては厳しい設計基準となる。特に、レベル1地震動対応における修復限界状態を検討する場合では、対象とする建築構造物基礎に対して耐震基準を変えていく必要があるものとする。

7-2 入力地震動（基本波形）策定に関して

入力地震動の設定方法には、大別して「標準的な入力地震動を用いる方法」と、「建設地点ごとに入力地震動を定める方法」の2種類の方法がある。一般的に地震動は、建設地点で測定された複数の観測波形を用いて、安全側の設計が可能となるように設定することを原則としているが、それらの内容を考慮した時刻歴加速度波形（入力地震動波形）を作成するためには、建設地点の地盤状態を詳細に調査し、活断層の位置や地形等を考慮するなど、多大な労力が必要となる。また、高規格堤防の施工延長は長く、建設地点ごとの入力地震動を定めることは困難であるため、今回は発生する地震の震源位置を特定しないとして、「道路橋示方書（V耐震設計編）、日本道路協会、H.14」にまとめられている過去に地表面で観測された波形から算出した標準的な加速度応答スペクトルを利用した基本波形を設定する。

一般的なレベル2地震動対応における耐震性評価を行うためには、プレート境界型のタイプIと内陸直下型のタイプIIの2種類の入力波形を設定する必要がある。プレート境界型のタイプI地震動は、未だ観測された記録がないため、大正12年の関東地震に対する多くの研究結果や過去の観測記録の統計解析結果を基にまとめられている「道路橋示方書（V耐震設計編）」を参考にして作成する。また、内陸直下型のタイプII地震動も、タイプIと基本的には同様な考え方の基に、兵庫県南部地震による実測波形から作成を行った。

表-7には、現行マニュアル（高規格堤防盛土設計・施工マニュアル）の入力波形及び今回検討した入

力波形の概要を示した。また、図-10には、タイプI地震動を対象とした工学的基盤面の入力地震波形の作成手順を示した。現行マニュアルでは既に動的変形解析による中規模地震動に相当する基本波形の設定を行っており、1968年5月の十勝沖地震（M=7.9）で観測された八戸波による結果が一番大きな地盤変形を生じさせる傾向にあった。この波の特徴としては固有周期

表-7 今回検討した入力波形の概要

| 検討年度 | 入力レベル | 基本波形 | 入力地震動の大きさ | 入力地震動の継続時間 |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--|--------------------|
| 現行マニュアル (平成12年3月) | 中規模地震 (レベル1地震動) | 1968年十勝沖地震 八戸港強震観測波形を八戸港の基盤に引き戻した波形 | 八戸港工学的基盤波の最大振幅を150galに調整 | 90秒(値が存在するのは約70秒間) |
| 今回の検討 | レベル2タイプI 地震動(プレート境界型の大規模な地震) | 1968年十勝沖地震 八戸港強震観測波形を八戸港の基盤に引き戻した波形 | 八戸地表波形を周期ごとに道路橋示方書タイプI標準加速度応答スペクトルに合致するように調整しそれを工学的基盤に引き戻す | 約80秒 |
| | レベル2タイプII 地震動(兵庫県南部地震のような内陸直下型地震) | 神戸海洋気象台記録(EW成分)を工学的基盤に引き戻した波形 | 土研で暫定提案された解放基盤面における加速度応答スペクトルに合致するように、強震記録を振幅調整する | 約30秒 |
| | | 大阪ガス葺合記録(X成分)を工学的基盤に引き戻した波形 | | 約40秒 |
| | | 大阪ガス葺合記録(Y成分)を工学的基盤に引き戻した波形 | | 約40秒 |

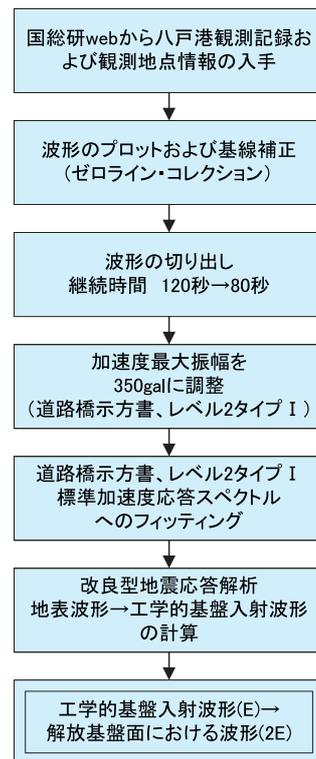


図-10 レベル2地震動タイプI波形の作成手順

が比較的長く、軟弱地盤において地震動が増幅されることが知られており、また、過去の記録より最も大規模な地震であるため、レベル2地震動対応波形の策定に際して、八戸波をベースにしたタイプI波形の作成を行った。

今回策定した3波形（八戸波・神戸海洋気象台波・大阪ガス葺合波）5成分の時刻歴加速度振幅波形と固有周期に対する加速度応答スペクトルの関係を図-11(a)(b)に示した。今後、位相特性の違い等を考慮したこれらの波形を用いた高規格堤防断面における動的変形解析を行うことで、地表面変位量の一番大きく算出される等の安全側での設計を見据えた入力波形を最終的なレベル2地震動波形として採用する予定である。

8. まとめ

高規格堤防整備事業におけるコスト縮減対策の検討、ならびにレベル2地震動対応に向けての耐震機能の整理を行った結果を以下に示した。

- 1) 液状化層厚が比較的薄い場合では、 Δu 法による所定の安全率を満足しなくとも、動的変形解析より得られる変位量は許容残留変位量を満足する傾向にあるため、高規格堤防整備地区における液状化対象区間全体の多くの区間で液状化対策不要となる可能性を示した。
- 2) 固化工法による改良体設置位置の検討結果より、堤防表法尻部から堤防直下部への斜め型地盤改良工法の対策ケースにおいて、コスト縮減の可能性があることを示した。
- 3) 所定の許容残留変位量を満足しない部分が主に既設堤防裏法部に限定できるため、比較的沿川の地価が廉価な河川においては必要に応じて一部用地買収等による土地利用制限を行い、耐震対策を縮小することで全体の事業費削減となる可能性を示した。
- 4) レベル2地震動に対する耐震基準は、建物の終局限界状態に着目した被災時での建物倒壊の限界傾斜角に関する文献等を整理した結果より、20/1000～40/1000程度の傾斜角が高規格堤防特別区域における耐震性能規定の目安値の一つになることを示した。
- 5) 動的変形解析に用いるレベル2地震動対応での工学的基盤面における入力波形として、「道路橋示方書」にまとめられている標準的な加速度応答スペクトルを利用した3波形（八戸波・神戸海洋気象台波・大阪ガス葺合波）5成分の基本波形（タイプ1・タイプII）の策定を行った。

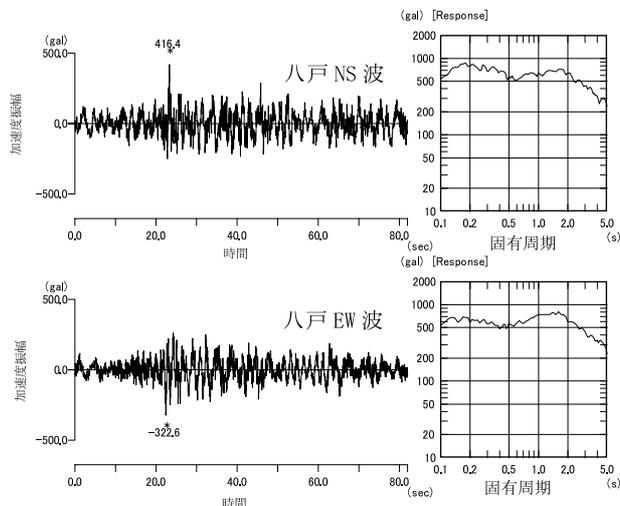


図-11 (a) タイプI地震動の入力波形

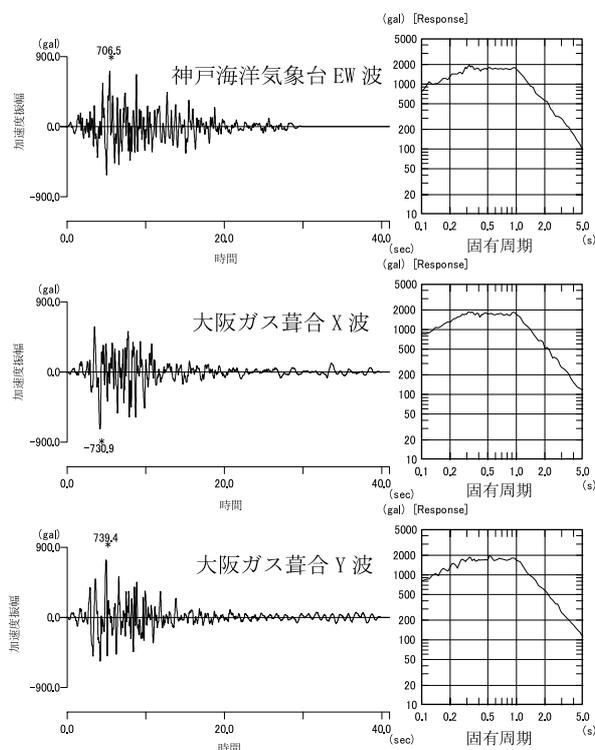


図-11 (b) タイプII地震動の入力波形

<参考文献>

- 1) (社)日本河川協会：改訂新版建設省河川砂防技術基準（案）設計編 [I] (1997)
- 2) 例えば、安田進・橋本孝雄：鳥取県西部地震における住宅の液状化による沈下について，土木学会第57回年次学術講演会，p.1029 - 1030 (2002)