

## 名古屋港高潮防波堤の防護機能と沈下対策について

菊地洋二\*・廣瀬紀一\*\*・佐藤 誠\*\*\*・横田 勉\*\*\*\*

\* (財) 沿岸技術研究センター 調査役

\*\* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

\*\*\* 国土交通省 中部地方整備局 名古屋港湾事務所 工務課長

\*\*\*\* 国土交通省 中部地方整備局 名古屋港湾事務所 沿岸防災対策官

名古屋港高潮防波堤は、伊勢湾台風来襲後に高潮防護施設として築造され、伊勢湾台風から 50 年を経過する現在においても、伊勢湾台風級の大型台風に対する防護機能を果たしている。しかしながら、堤外地である埋立地における高潮防護効果や発生が予想される東南海・東海地震による高潮防波堤の沈下が懸念されている。これらに対する高潮防波堤の防護機能を新たに検証するとともに、地震による沈下に対応できる対策を検討し、今後の高潮防波堤のあり方・方向性について検討した。

キーワード：高潮防波堤、高潮浸水シミュレーション、地震沈下対策、嵩上げ

### 1. はじめに

名古屋港高潮防波堤は、昭和 34 年に来襲した伊勢湾台風による災害復旧工事において、高潮防護施設として築造され、昭和 39 年に完成した。その後も、伊勢湾台風級の大型台風に対する防護機能を維持し、名古屋港内および防潮堤内の背後地を高潮被害から防護する役割を果たしてきた。

しかしながら、伊勢湾台風以後 50 年を迎え、復旧当時に比べて名古屋港内の埋立地が増えて港内地形が大きく変化したこと、地球温暖化の影響により海面上昇や台風大型化のリスクが懸念されていること、東海・東南海・南海複合地震や直下型地震の発生が予想されていることなど、高潮防波堤の置かれた状況が大きく変化してきている。このような今後想定される高潮や外力に対して、高潮防波堤の防護機能や耐震性能を再検証し、対策を検討する必要がある。

本報告では、高潮防波堤の防護機能のあり方を検証したうえで、高潮浸水シミュレーションにより防護目標として必要な天端高を設定する。さらに、別途検討された耐震照査結果を基に、地震による沈下量を考慮した高潮浸水シミュレーションにより防護機能を確認する。最後に、地震による沈下に対する対策のあり方・方向性を検討し、将来にわたる高潮防波堤の防護機能を維持していく方策について報告する。

### 2. 高潮防波堤の機能

#### 2.1 高潮防波堤とは？

伊勢湾台風来襲後の昭和 34 年に「伊勢湾等高潮対策協議会」が設置され、海岸堤防の整備とともに名古屋港の鍋田地区と南部地区（知多市）を結ぶ高潮防波堤の建設が計画された。

この高潮防波堤と港内の高潮防護ラインである防潮堤の防護機能は、伊勢湾台風級の気象・海象条件をもとに

検討された。当時の設計天端高は、台風期平均満潮位(2.3m)+高潮偏差(2.4m)+有義波高の 60%(1.8m)として N.P.+6.5m に設定された。当時の検討結果によると、高潮防波堤の効果として、防潮堤の高潮偏差を 0.5m、波高を 0.7~0.9m 低下させることができ、防潮堤の設計天端高を高潮防波堤がない場合に比べ 1.2~1.4m 下げることが可能となった<sup>1)</sup>。

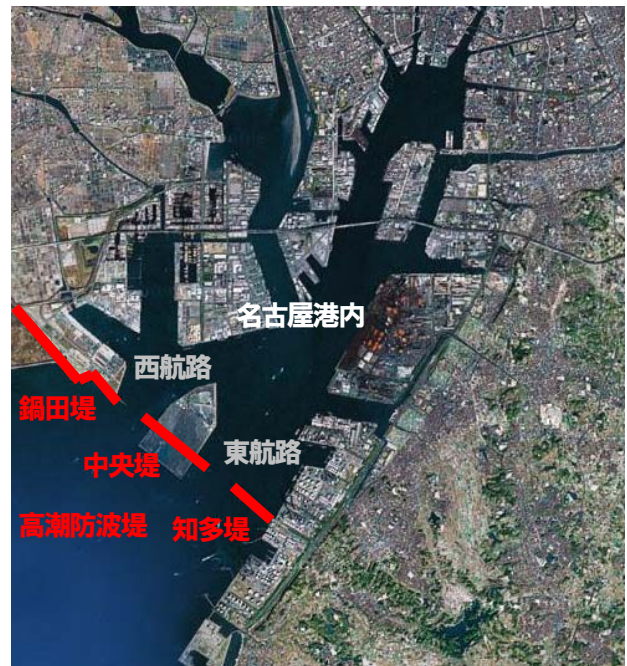


図-1 名古屋港と高潮防波堤の位置

#### 2.2 高潮防波堤の現状機能

高潮防波堤の延長と港口幅員は、計画当初より変遷を経て昭和 43 年に現在の形となり、延長は知多堤 1330m、中央堤 2136m、鍋田堤 4126m、港口幅は東航路 650m、西航路 450m である(図-1)。また、伊勢湾台風来襲以降、名古屋港内は埋立による開発が進み、海域における波浪

に対する遮蔽効果の影響が大きくなっている(図-2)。このような状況のもと、高潮防波堤および防潮堤の現況における防護機能は、既往の調査<sup>2)</sup>によると、伊勢湾台風級の台風が来襲した場合にも、名古屋港内の埋立地(堤外地)の浸水はあるものの防潮堤背後(堤内地)への浸水は発生しないことが検証されている。なお、高潮防波堤は建設後45年を経過し、現況の天端高は地盤沈下により部分的に計画天端高を下回っている箇所がある。平成19年度の現況天端高の観測結果では、東側から順に以下のとおりである。

- ・ 知多堤 : N.P.+6.5~6.1m (平均 N.P.+6.4m)
- ・ 中央堤 (東) : N.P.+5.7~5.5m (平均 N.P.+5.6m)
- ・ 中央堤 (P I) : N.P.+6.3~5.3m (平均+N.P.6.0m)
- ・ 中央堤 (西) : N.P.+6.5~6.4m (平均 N.P.+6.4m)
- ・ 鍋田堤 (東) : N.P.+6.5~6.1m (平均 N.P.+6.4m)
- ・ 鍋田堤 : N.P.+6.5~5.0m (平均 N.P.+5.9m)

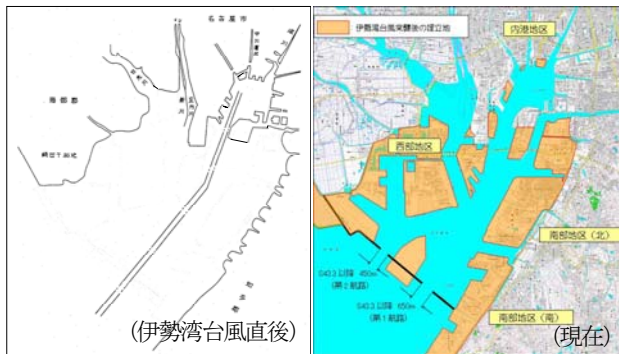


図-2 名古屋港内の形状の変化

### 2.3 防護目標の設定

名古屋港高潮防波堤は、台風時の高潮と波浪を同時に食い止め、防潮堤とセットで台風来襲による堤内地への浸水被害を防ぐことを目的に建設されたことから、防護目標の基本的な考え方として、「高潮防波堤は防潮堤とともに、伊勢湾台風級の台風により発生する高潮・波浪が堤内地へ浸水被害をもたらすことを防ぐ」とすることができる。

しかしながら、前述のとおり名古屋港内の埋立地に港湾機能や企業の立地がなされる現況では、これら堤外地に対する高潮・波浪の防護も重要な要素となっている。以上を踏まえると、高潮防波堤の防護目標として設定すべき要素として、以下の点が挙げられる。

- ① 高潮防波堤の高潮に対する防護機能を保つためには、高潮発生時に水没しない(天端高が前面潮位よりも高い)こと。
- ② 堤外地の港湾機能や立地企業に有害な越流・越波による浸水を極力防止できること。
- ③ 堤内地への越流を阻止できること。

### 3. 防護機能の確認

#### 3.1 必要天端高の算定

高潮防波堤の防護目標を確保するためには、必要天端高を算定する必要がある。ここでは必要天端高の算定方法として、高潮浸水シミュレーションにより、前述の防護目標となる3つの要素を満足する天端高を見つけることとし、以下の計算ケースを実施した。

- ・ ケース1 : 天端高 N.P.+5.4m (全延長で一律)
- ・ ケース2 : 天端高 N.P.+4.5m (全延長で一律)
- ・ ケース3 : 地震沈下を考慮した天端高

ケース1は、台風期平均満潮位(2.38m)に既往の調査<sup>2)</sup>で求められた高潮偏差(3.0m)を加えたもので、N.P.+6.5~5.0mの現況天端高を若干下回った高さとして設定した。ケース2は、港内静穏度の確保に必要な天端高として技術基準<sup>3)</sup>に解説されている高さを参考に、台風期平均満潮位(2.38m)に有義波高  $H_{1/3}$ (3.5m)の60%を加えた高さとして設定した。

ケース3は、今後発生が予想される地震により、高潮防波堤が液状化して沈下した場合を想定している。ここでは、別途調査<sup>4)</sup>で求められた高潮防波堤の地震時沈下量の最大値を、現況天端高から引いた高さを震災後の天端高として設定した(表-1)。動的沈下解析等の内容は、以下のとおりである。

- ・ 地震動は、レベル1地震動およびレベル2地震動(①東海・東南海・南海地震、②加木屋断層地震、③M6.5直下型)を対象とした。
- ・ 模型振動実験(水中振動台)を実施し、解析結果との整合性を把握した。
- ・ 防波堤各断面の沈下量解析を2次元地震応答解析(FLIP)により行った。

表-1 地震時沈下量解析結果と沈下後の天端高

(高さ : N.P.)	鍋田堤		知多堤			
	土砂堤	方塊堤	SD堤	床掘-15m	床掘-11m	
現況天端高 (平均値) (m)	5.9	5.9	6.3	6.5	6.5	
最大沈下量 (m)	東海・東南海・南海地震	0.9	2.9	1.4	2.9	2.1
	加木屋断層	0.5	1.2	3.0	4.1	3.4
沈下後天端高 (m)	5.0	3.0	3.3	2.4	3.1	

#### 3.2 高潮防波堤の天端高と防護機能の関係

高潮防波堤の天端高と防護機能の関係は、高潮浸水シミュレーションにより確認する。高潮浸水シミュレーションは、以下の計算条件で行った。なお、モデルの再現性は、既往の調査<sup>2)</sup>により確認されている。

- ・ 台風 : 伊勢湾台風
- ・ 潮位 : 台風期平均満潮位 (N.P.+2.38m=T.P.+0.97m)



- ・ 防潮堤天端高：計画天端高
- ・ 地形条件：現地形
- ・ 波浪：wave setupによる水位上昇，越波量を考慮
- ・ 陸域浸水：越流，越波を考慮

(1) 高潮防波堤の天端高と前面潮位

高潮防波堤の天端高と前面潮位を比較して，水没の有無を確認すると，ケース1（天端高 N.P.+5.4m）では知多堤と中央堤東で9cm程度，中央堤西と鍋田堤で20cm程度水没する．ケース2（天端高 N.P.+4.5m）ではすべての区間で1m程度，ケース3（地震時沈下）では2m以上水没する．

(2) 名古屋港内の潮位

名古屋港内の最大潮位を見ることにより，高潮防波堤の高潮低減効果を確認する．ここでは見やすくするために，既往の調査<sup>2)</sup>の現況ケースとの差分を図示する．ケース

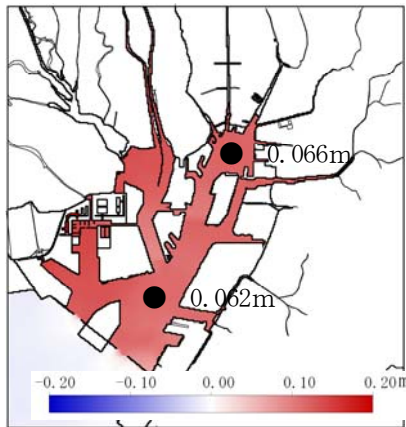


図-3 名古屋港内の最大潮位 (ケース2)

1では，鍋田堤付近を除き港内のほとんどが1~2mm程度高くなるだけで，現況とほとんど差がない．ケース2では港内で6~7cm (図-3)，ケース3では10cm程度高くなる．

(3) 堤外地の

浸水深

今回，防護目標の1つに設定した堤外地における高潮浸水の状況を確認する．浸水深は，その位置の土地利用の状況や蔵置物によって被害想定が異なるため，一概に評価することは

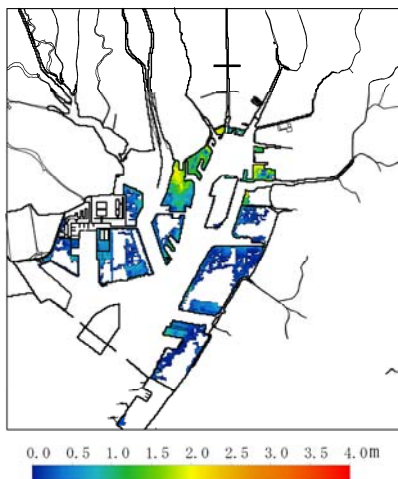


図-4 堤外地の最大浸水深 (ケース1)

できないが，ここでは高潮防波堤の高潮低減効果をマクロ的に見ることとし，ケース1の最大浸水深の平面分布を図示する (図-4)．これによれば，堤外地の岸壁沿いを中心に0.5~1.0m程度の浸水が見られる．とくに顕著な浸水が

金城地区で2.5m程度見られるのは，元々の地盤高が比較的低いためである．

各ケースの違いを見るために現況ケースとの差分を図示する (図-5)．ケース1では現況との差は見られないが，ケース2では5~8cm程度，ケース3では11~15cm程度に差が拡大し，浸水区域も広がりを見せている．

(4) 堤内地への越流

各ケースとも「伊勢湾台風級，台風期平均満潮位」の条件では，防潮堤背後の堤内地への越流は発生しないことが確認された．ただし，堤内地である潮見ふ頭の南側護岸付近は波浪の影響を受けやすい位置にあるため浸水域があるが，越波によるものであり許容越波流量を下回っていることを確認している．

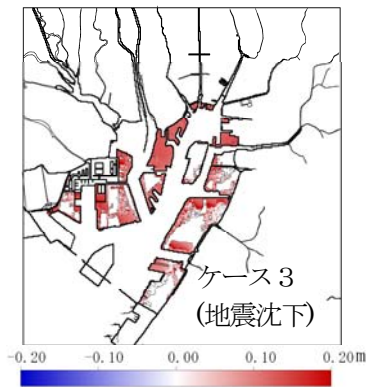
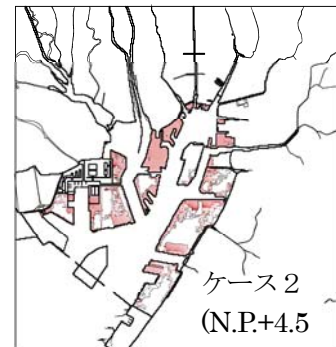
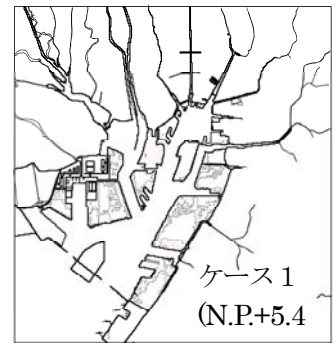


図-5 堤外地の最大浸水深 (現況との差分)

3.3 高潮防波堤の必

要天端高

以上の検討により，防潮堤の海側前面の埋立地 (堤外地) への影響を踏まえると，高潮防波堤の地震による沈下後に確保すべき天端高は，N.P.+5.4m以上必要であるといえる．

ケース1の場合，①高潮時に水没することが少ない，②港内の高潮潮位は現況と差がない，③堤外地の浸水はあるものの現況との差がない，④堤内地への越流を阻止できる．ケース2およびケース3の場合，ケース1とは明らかな差が生じていることがわかる．とくにケース3の検討によって，レベル2地震による堤体沈下により，被災後の天端高が必要天端高N.P.+5.4mより0.4~3m程度低くなることが想定され (表-1)，適切な沈下対策が必要なが明らかになった．

4. 高潮防波堤の沈下対策と今後の方向性

4.1 地震による沈下対策

高潮防波堤の防護機能を維持するうえで，地震による

沈下に対して必要天端高を確保する方法として、以下の対策が考えられる。

### (1) 沈下を抑制する方法

沈下を抑制する方法には、液状化防止対策として基礎地盤を改良する方法があるが、既設の高潮防波堤の構造形式がケーソン混成堤であることから、構造物直下を海上から改良施工しなければならない。これが可能な工法として、静的圧入締固め工法（コンパクショングラウチング）および浸透固化処理工法が挙げられる。いずれも斜め打ち施工・仮設構台等が大掛かりになり施工費が高価になる。また、海上での実績は少ないが、シートパイルで既設堤体の周囲を囲い液状化後の地盤のせん断変形を抑制する方法がある。

いずれにしろ沈下を抑制する方法は、多大な施工費を掛ける割には、建築後45年経過した高潮防波堤を今後も維持して行かなければならず、現実的な方法とはいえない。

### (2) 沈下を前提にした方法

沈下を前提にして必要な天端高を事前に確保しておく方法には、パラペットを嵩上げする方法がある（図-6）。予測される沈下量に相当する高さを、必要天端高の不足分として嵩上げしておく。ただし、嵩上げ高が高くなるにつれて堤体前面の波圧面が大きくなり、堤体の滑動安定性が損なわれるため、背面側に捨石マウンドにより受働抵抗を得る等の対策が必要になる。また、嵩上げが大掛かりになると堤体重量が増し、耐震性にも悪影響が出る。

事前の嵩上げ対策は地震時沈下量が小さい区間に限られるが、経済性では極めて有利な工法であり、地震被災後の必要天端高を確保しておくには有効な方法といえる。

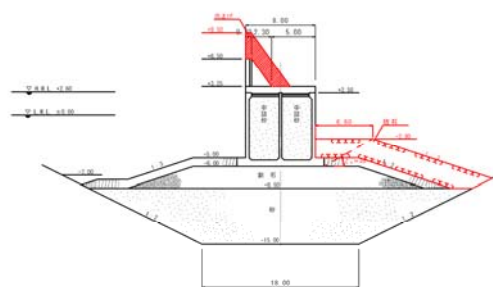


図-6 沈下を前提にした方法（事前嵩上げ対策例）

### (3) 高潮防波堤の改良による方法

高潮防波堤は、上部コンクリートの劣化など老朽化が進んでいるものの、全体として安定した状態にあることが現況調査で確認されている。そのため、レベル2地震がすぐにでも発生する場合に備え、当面は堤体本体や基礎マウンドの老朽化対策・安定性対策等の延命化を図る

ことが有効である。しかしながら、いずれは構造物としての寿命が訪れる。また、今後の地球温暖化による気候変動に起因する海面上昇、台風の大型化等の将来リスクへの対応が課題となる。

そのためには、現況の高潮防波堤の防護機能を維持しつつ、大規模な構造上の改良を進める対策が必要である。構造案としてケーソン混成堤、鋼管防波堤等が考えられるが、ここでは経済性と将来リスクに備えた対策がとりやすい空間を確保できる「幅広堤」を提案した（図-7）。これは、既設高潮防波堤の背後に緩傾斜堤を築造し、新旧構造物の間を埋立てる構造である。緩傾斜堤は、低置換率のサンドコンパクションパイル改良が可能であり、重量構造物よりも堤体の耐震性に有利である。

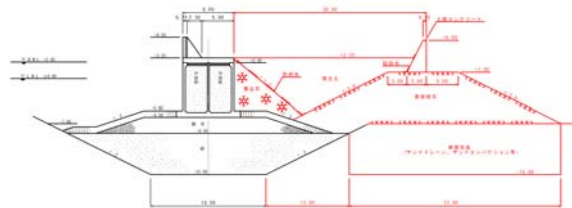


図-7 高潮防波堤の改良による方法（幅広堤の例）

## 4.2 高潮防波堤の今後の方向性

名古屋港内の埋立地（堤外地）の開発が進んだ現況において、名古屋港高潮防波堤の防護機能と地震沈下対策の検討を行って、以下の成果を得た。

- ・ 伊勢湾台風級+台風期満潮位の条件で高潮浸水シミュレーションを行い、天端高N.P.+5.4mあれば、高潮防波堤の水没はなく、堤外地の浸水を極力抑えられ、堤内地への越流を阻止できることがわかった。
- ・ レベル2地震に対して高潮防波堤の地震沈下量は0.9~4.1mであり、高潮防護機能を満足できないため、沈下対策が必要であることを確認した。
- ・ 沈下対策として、沈下量が小さい区間ではパラペットの嵩上げ対策が経済的に有利であり、沈下量が大きい区間では幅広堤のような経済性・耐震性・将来リスクへの対応性に優れた構造改良を提案した。

今後も名古屋港の堤外地および堤内地の防護レベルを維持するうえで、高潮防波堤のもつ防護機能は重要であり、ハード対策として老朽化対策、耐震性向上、構造改良等の対策を継続していくことが必要である。

### 参考文献

- 1) 建設省中部地方整備局:伊勢湾台風復旧工事誌(上巻),1963.
- 2) 国土交通省中部地方整備局:伊勢湾高潮防護水準検討調査,2001./国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所:伊勢湾・三河湾高潮検討調査,2008.
- 3) 港湾の施設の技術上の基準・同解説,819p,2007.7
- 4) 国土交通省中部地方整備局名古屋港湾事務所:名古屋港高潮防波堤耐震照査検討調査,2009.