特集≫≫　河川・ダムの維持管理，点検補修

東京の東部低地帯の河川堤防整備
300 万人の命と暮らしを守る耐震・耐水対策事業

久　保　嘉　章

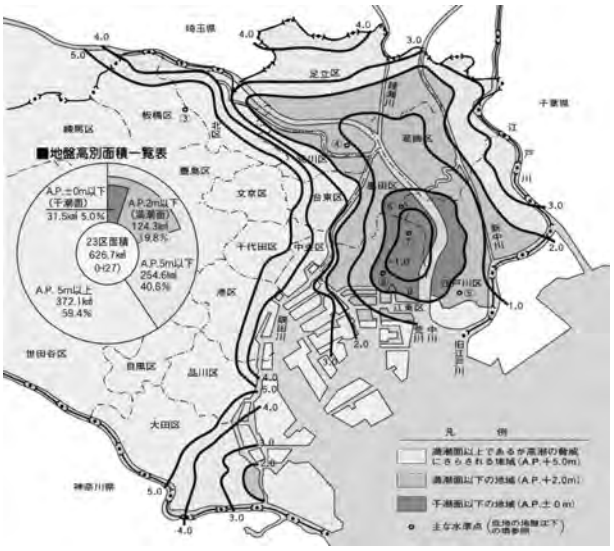
東京都は，都民の命や暮らしを守るため，東部低地帯の治水安全度を高める様々な施策を行ってきている。また，安全性の向上だけではなく，都民により親しまれる川づくりも併せて進めている。本稿では，東部低地帯を流れる隅田川と江東内部河川の「耐震・耐水対策」と隅田川の「水辺のにぎわい創出」について，災害に備える観点から紹介する。

キーワード：堤防，耐震・耐水対策，にぎわい整備，地盤改良

1. はじめに

東京都は，都民の命や暮らしを守るため，東部低地帯の河川において，堤防の耐震・耐水対策を進めている。

東京の東部地域は，約 6,000 ～ 10,000 年前に縄文海進と呼ばれる海面上昇の際に堆積した厚い軟弱地盤で構成されている。また，明治以降の産業の発展に伴い，地下水の汲み上げや水溶性天然ガスの採取が盛んに行われ，その結果生じた地盤沈下により地盤高が海水面以下となっている。ここには，隅田川，荒川，中川などの大河川や多くの支川や派川が流下しており，東部低地帯と称されている。この地域は，計画高潮位よりも地盤高が低い土地が約 250 km^2 に及んでおり，およそ 300 万人の人々が生活している[1]（**図―1**）。



図―1　東京の低地帯

2. 東部低地帯の河川堤防整備

(1) これまでの隅田川，江東内部河川の整備

隅田川では，東部低地帯を高潮から防御するため，昭和 38 年度より伊勢湾台風級の高潮対策を目的とした防潮堤 46.9 km の整備を開始し，昭和 50 年度には 10 数年という短期間で概成している。昭和 62 年度からはスーパー堤防の一部であり，防潮堤の耐震性の向上，水辺利用の促進を目的としたテラス整備事業に着手し，平成 28 年度末時点で概成するなど，河川整備を着実に進めてきた。また，平成 7 年兵庫県南部地震を契機に，施設の供用期間中に一度は発生するとされる地震（レベル 1 地震動）を想定した耐震対策事業を実施してきている。

隅田川と荒川にはさまれ，大半が満潮面以下の地盤高である，いわゆる江東三角地帯には，小名木川や仙台堀川等の河川が縦横に流下している。これらの河川では，地盤沈下の進行に伴い護岸の嵩上げを繰返し行ってきたため，大地震に対して脆弱な構造となっている。そこで，都では昭和 46 年度から江東内部河川整備事業を進めてきた。この事業では，東部低地帯を地盤高や河川利用の観点から東西に二分し，それぞれに適した方式を採用している。地盤が特に低い東側地域の河川については「水位低下方式」を採用している。この方式は水門等で周囲を締切り，人工的に平常水位を地盤高程度まで低下させた上で護岸等を整備するものである。また，相対的に地盤が高い西側地域の河川は，護岸の耐震性を向上させる「耐震護岸方式」で整備を行っている。

(2) これまでの整備の効果

東部低地帯は，過去に繰返し洪水や高潮の水害に見舞われてきた。なかでも，昭和 24 年 8 月キティ台風では東京地方を高潮が襲い，東部低地帯を中心に浸水面積は約 92 km^2，浸水戸数 13 万戸以上，死傷者数 122 人の被害となった。

しかし，その後，防潮堤，水門，護岸の整備などの様々な対策を施してきた結果，近年は大きな水害は発生していない。平成 13 年 9 月に東京都心を通過した台風 15 号では，キティ台風に匹敵する高潮を観測した。また，平成 29 年 10 月の台風 21 号においても同様の高潮が観測された。しかし，両台風による高潮では，河川に起因する水害は生じていない（**表―1**，**写真―1**）。

防潮堤や水門等の整備が十分でなかったと仮定すると，想定浸水面積約 174 km^2，想定被災人口約 260 万人，想定被害家屋約 110 万戸，想定被害額約 40 兆円と莫大な被害となることが試算されている（**図―2**）。

表―1　過去の台風との比較

年　月		昭和 24 年 8 月	平成 13 年 9 月	平成 29 年 10 月
台　風　名		キティ台風	台風 15 号	台風 21 号
気　圧		986 hPa	970 hPa	915 hPa
水位	亀嶋川水門	−	A.P.＋3.15 m	A.P.＋2.98 m
	上平井水門	−	A.P.＋3.72 m	A.P.＋3.24 m
	中央区明石町	A.P.＋3.15 m	−	−
台風による主な被害	浸水戸数	137,878 戸	0 戸※	0 戸※
	死傷者	122 人	0 人※	0 人※

※高潮による河川氾濫被害

写真―1　高潮により水位が上昇した隅田川

図―2　整備が遅れていた場合に想定される被害

平成 23 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震では，東部低地帯においても最大で震度 5 強を観測し，1.5 m の津波が発生した。これまでの対策が功を奏し，河川施設において大きな被害はなく，地震発生 4 分後には水門閉鎖指令を発令，30 分で全水門が閉鎖されたことにより津波被害も生じなかった。このことは，地震に対しても一定の安全性が確保できている証明と言える。

3. 隅田川防潮堤，江東内部河川護岸の耐震性照査と対策事例

都は，東北地方太平洋沖地震において，想定を上回る津波等により東北地方を中心に甚大な被害が発生したことを鑑み，平成 24 年 12 月に「東部低地帯の河川施設整備計画[2]（以下「整備計画」という）」を策定した。これまで想定してきたレベル 1 地震動に加え，首都圏直下地震など将来にわたって考えられる最大級の地震動（レベル 2 地震動）を考慮して防潮堤や護岸，水門など水害対策施設の耐震補強計画を定めた。整備計画では，計画期間を平成 24 年度から平成 33 年度の 10 年間と設定した。

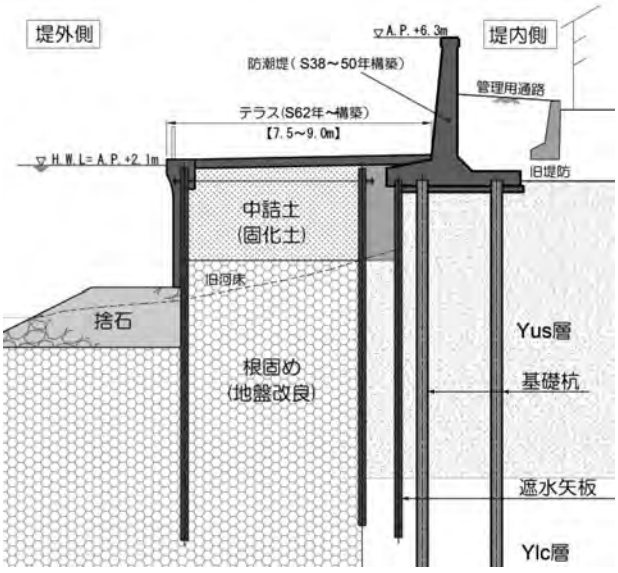
なお，特に緊急性の高い，水門より下流側に位置する約 40 km の防潮堤と，水門・排水機場等の全 22 施設の対策については整備目標を平成 31 年度としている（**図―3**）。

以下に，整備計画に基づいて実施中である隅田川防潮堤，江東内部河川護岸の耐震性能照査と対策事例について述べる。

(1) 隅田川防潮堤と江東内部河川護岸の構造

堤防の構造は，鉄筋コンクリート造特殊堤（RC 特

図―３　東部低地帯の河川施設対策箇所



図―４　RC 特殊堤の構造（隅田川の例）

殊堤）と土堤の２つに大きく区分される。隅田川と江東内部河川では，スーパー堤防区間や旧中川を除くほとんどの区間において RC 特殊堤である（**図**―４）。

RC 特殊堤の構造を**図**―４に示した。隅田川防潮堤の本体は，伊勢湾台風級の台風の襲来を想定した高潮を防御するために昭和 38 年～ 50 年に旧堤防の前面に構築された。旧堤防との間は河川管理用通路を整備している。昭和 62 年からは，レベル１地震時のすべり破壊対策として，遮水矢板前面に根固めを追加で行い，その上面はテラスとして整備し，都民の憩いの場として利用されている。

江東内部河川の耐震護岸も隅田川と同様に，昭和 46 年から既設護岸の前面に構築されている。

隅田川及び江東内部河川の地盤状況は概ね，地表付近に緩い砂質土層で構成される有楽町層上部砂質土層（Yus 層），その下位には軟弱粘性土層で構成される有楽町層下部粘性土層（Ylc 層）が厚く分布している。

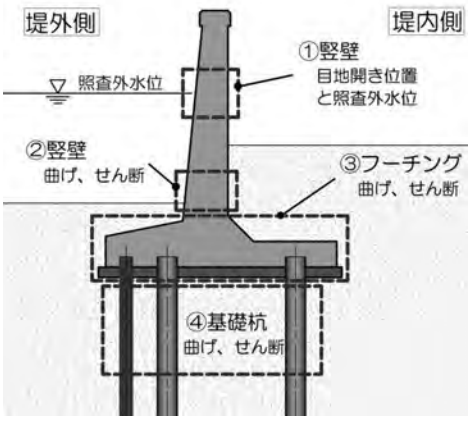
(2) 耐震性能照査項目

耐震性能照査は，防潮堤と護岸の各構造部材について曲げ，せん断応力度，変形量の許容値を設定し，地震時に発生する値がそれ以下であることを確認する。

防潮堤，護岸の躯体や基礎杭の曲げについては弾性域を超えない範囲まで許容し，せん断については破壊が生じないものとした。変形量は，躯体の変形で生じる目地開き部の高さが照査外水位（耐震性能照査で考慮する外水位）を下回らないこととした。隅田川の照査外水位は，朔望平均満潮位 A.P.＋2.1 m に対して，整備計画で設定した地震動（元禄型関東地震 L2-1，Mw＝8.2 と東京湾北部地震 L2-2，Mw＝7.3）による津波を考慮した水位をそれぞれ A.P.＋3.34 m，A.P.＋2.52 m と想定し，合わせて地震による広域地盤沈降量（それぞれ 0.40 m，0.20 m）を考慮した。

江東内部河川の照査外水位は，水門閉鎖が津波到達前に可能な L2-1 地震では朔望平均満潮位 A.P.＋2.1 m，震源が近く水門閉鎖が完了する前に津波が到着すると想定される L2-2 地震では津波を考慮した水位とした（**図**―５）。

レベル２地震動に対する構造部材の照査は，地震時保有水平耐力法により基礎杭や躯体（フーチング，竪壁）の耐力照査を行った。また，地盤が液状化した際



図―５　RC 特殊堤の耐震照査項目

に，堤外側へ堤防が変形することが想定されることから，液状化による自重変形解析による照査も行った。

(3) 耐震性能照査結果

基礎杭は曲げ耐力が不足する結果が多くみられた。特に，構築時期が古い防潮堤では木杭が用いられているため，せん断耐力も不足する場合があった。これは，堤防直下の Yus 層が地震により液状化し，杭の変形量が大きくなるためである。

躯体については，フーチングのせん断耐力が不足する傾向にあり，特に堤外側のせん断耐力不足が顕著であった。堤防のフーチング厚は橋脚や橋台等と比較して薄いため，こうした傾向が生じる。竪壁は，付根部の曲げ耐力が不足する場合がある。江東内部河川のように護岸背面の盛土高が高い場合，この傾向が顕著であるため，背面土塊にかかる慣性力の影響が大きいと判断される。

自重変形解析の結果，堤防に生じる水平，鉛直変位は共に概ね数センチから数十センチ程度であったが，目地開きが照査外水位以下となる区間はこれまでに確認されていない。

防潮堤では，前面に整備されたテラス（根固め）が，液状化による流動化をある程度は抑止しているためと判断される。

(4) 耐震対策補強工事の実施

耐震性能照査の結果を受けて，施工を進めている工事事例を以下に紹介する（**図**―6）。

(a) 地盤改良による耐震対策

基礎杭の耐震対策は，土質条件や，施工箇所が狭隘であること等を考慮し，高圧噴射攪拌工法による堤防直下の地盤改良を多く採用している。施工箇所が狭隘であることや，遮水鋼矢板等が支障となり改良範囲も限られることから，大口径の地盤改良が可能な小型・軽量の施工機械を用いる必要があった。

改良深度は，杭の降伏範囲と液状化発生範囲を比較して深い範囲を設定し，改良径は基礎杭を改良体で覆うように設定した。また，平面配置は噴射方向や基礎杭等の影となる部分を考慮し，補強すべき基礎杭のまわりが確実に改良されるよう留意した（**写真**―2）。

地盤改良工では，固化材を生成する改良プラントを設置する用地が 150 ～ 200 m^2 程度必要となる。しかし，前述したように，施工用地が限られているため，台船プラントを使用する場合が多い（**写真**―3）。

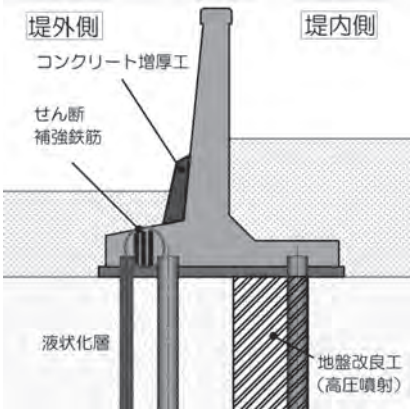
(b) 追加鉄筋による耐震補強

地盤改良による基礎杭対策を行っても，躯体の耐力不足が改善されない場合や，液状化層が堤防直下に存在しないが躯体の耐力が不足する場合には，鉄筋の増設による対策を行った。

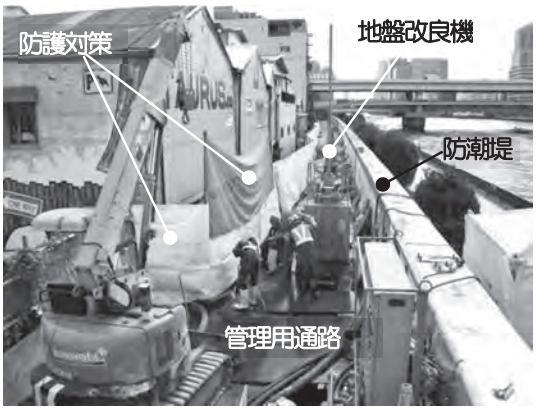
橋梁等における補強工法の適用事例を参考にし，せん断補強鉄筋挿入によるせん断耐力向上工法や，コンクリート部材増厚による曲げ耐力向上工法等を採用した。

(c) 前出し新規護岸（鋼管矢板，河床地盤改良）

江東内部河川では，護岸背面側が天端まで盛土されていることや，サクラ等の植栽があることを考慮し，既設護岸の前面に新規護岸を構築して対策工法とする区間もある。ただし，川幅が狭まることから，水門閉



図―6　耐震対策補強工（隅田川の例）



写真―2　地盤改良施工状況

写真―3　台船プラント

鎖時における湛水位への影響や船舶の航行への影響が少ないことを事前に確認する必要がある。この工法では，既設護岸の前面に鋼管矢板による護岸を新設するとともに，河床を地盤改良することにより鋼管矢板の変位を抑止する。資機材の搬入は水上を基本としているが，航路にかかる橋の桁高が低いことから，低空頭のクレーン台船等を用いることにより対応している。

4. 水辺のにぎわい整備（災害に備える観点から）

ここでは，都で進めている隅田川の新たな水辺整備（水辺のにぎわい創出）について，災害に備える観点から紹介する。

(1) 防災船着場の整備と一般開放

平成 7 年兵庫県南部地震では，寸断された陸上交通網を補完するものとして舟運の有効性が注目された。東京都防災計画では，震災時の緊急輸送を円滑に行うため，輸送路の多ルート化を図ることとしている。防災船着場整備による防災上のネットワーク形成にあたっては以下の 3 つの機能を提供できるようにしている。

①緊急経路としての機能（被災直後に必要）
②物資輸送経路としての機能（応急復旧期に必要）
③移動経路としての機能（復興期に必要）

都では東日本大震災を受け，平成 28 年 1 月に防災船着場整備計画を改定し，既設と合わせて 94 箇所の防災船着場を配置する予定である。平成 28 年度末までに 71 箇所が整備済みであり，この中でも利便性の高い箇所では平常時の利用を推進している。隅田川では，発災時利用の習熟訓練を兼ねて，5 か所の船着場で平常時の一般開放を行っており，屋形船や小型観光船の発着に利用され，舟運の活性化に寄与している（**写真**―4）。

写真―4　防災船着場の平常時利用

(2) 隅田川テラスの夜間照明

近年，隅田川テラスで散策やジョギングを楽しむ人が増加している。しかし，テラスには一部区間を除いて照明が無いため，夜間は水辺に近づきにくい状況であった。このことから，隅田川の河口から白鬚橋付近の区間において照明設備の整備を順次進めている。テラス照明は，防災船着場への経路確保といった防災面への整備効果も期待できる。この照明には，災害時の停電に備えて非常電源設備を併設しており，最低限の明るさが二夜間は保たれる仕様としている（**写真**―5）。

写真―5　隅田川テラスの照明

5. おわりに

河川施設の耐震・耐水対策事業の目的は，想定される最大級の地震による地震，津波被害から都民の生命・財産を守ることと，首都東京の中枢機能を保全することである。堤防や水門，排水機場に，大地震に耐えうる強さを持たせ，安全・安心な高度防災都市東京を目指していく。今後も災害対策を万全なものにしつつ，水辺の利活用を促進させるための総合的な戦略を立案し，水辺空間の魅力も更に高めるように様々な施策を進めていく。

JCMA

《参考文献》
1）東京都建設局河川部：東京の低地河川事業，平成 29 年 2 月
2）東京都建設局：東部低地帯の河川施設整備計画～地震・津波に伴う水害から 300 万人の命と暮らしを守るために～，平成 24 年 12 月
3）東京都：防災船着場整備計画〈改訂版〉，平成 28 年 1 月

［筆者紹介］
久保　嘉章（くぼ　よしあき）
東京都江東治水事務所
内部河川工事課　耐震設計担当
課長代理