

防災拠点として利用する船着場護岸の設計について

A Design of a Landing Place Revetment

環太平洋地震帯に位置する我が国は、全国いたる所で、大地震発生の可能性があり、今まで最新の耐震技術を活用し地震に強い国土造りを目指してきました。

しかし、先般の阪神大震災に見られるような、大地震に対する都市圏の脆弱性が人々にとって大きな不安となっています。

本稿は、地震対策の重要性が求められている現状を踏まえ、防災拠点の一環として行なった豊平川の耐震性船着場護岸の設計について述べるものです

1. はじめに

人口の集中する都市部はほとんどが河川近傍に立地し、河川と密接なつながりを持っています。

一般に、河川防災あるいは治水という言葉からは、どうしても「洪水」災害が着目され、これまで地震災害に際して、「河川」が語られることが多い少なかったようです。しかし、阪神・淡路大震災以降、「河川」が有する「防災機能」、「災害復旧機能」が都市災害に際して重要な役割を果たしうるのではないかということが、しきりに語られるようになりました。

すなわち、広い高水敷のある河川では、一時的な避難空間として機能するとともに、河川はその特徴から縦断的連続性を有しており、避難経路として利用することが可能です。

また、河川内に整備された各種通路は平面交差がないことから、時間短縮効果も高く、高水敷の広い場所では車両の通行だけでなく、臨時のヘリポートや物資の中継・集散基地、運搬ルートとしても活躍できます。

本施設は、以上のような河川が都市防災において果たすことのできる役割を踏まえ、大都市札幌の中心部を貫流する豊平川の石狩川との合流点より上流約 5.6km の地点に、災害時における防災拠点として平成 8 年に建設されたものです。

2. 船着場護岸の計画

(1) 位置

船着場護岸の位置はできるだけ上流側で石狩川の背水の影響により常時水位が安定していること及び将来的に河床の変動量が小さいことを考慮して KP5.60 地点としました。

(2) 構造形式

船着場の主な役割、使用目的は災害時において

加藤 政春 *



佐々木 健治 **



物資の輸送を船舶により迅速に行ない、被害を最小限に止めることです。

従って、構造形式の選定に当っては耐震上強固なものであることが最も重要ですが、施工性・経済性についても考慮し比較検討した結果、2重式の鋼管矢板壁形式を採用しました。



図-1 船着場護岸位置図

(3) 構造諸元の設定

船着場の構造は、対象となる船舶の規模（貨物 200t 級）、水位の変動による船の乗り降り、荷役を考慮しました。エプロンはトラックを乗入れ本船と直接積降するため、幅員を 15m とし、大小各船舶が横付け係留できるように 25~35m のバース長を確保しました。

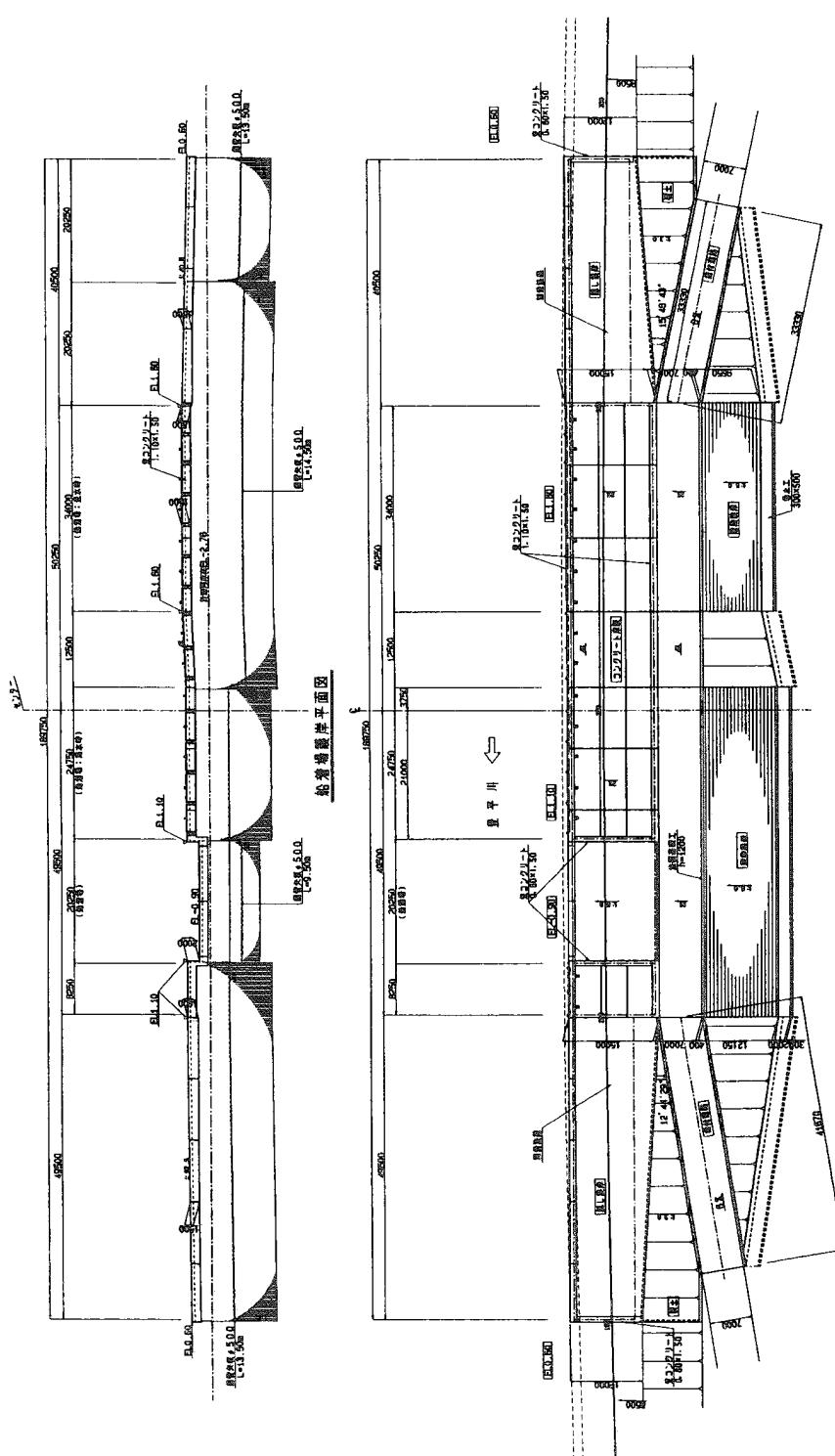
また、平常時におけるカヌー等の利用を考慮し、船揚場を設けました。

*) 水工部 副技師長 (RCCM: 河川砂防及び海岸) Masaharu KATO

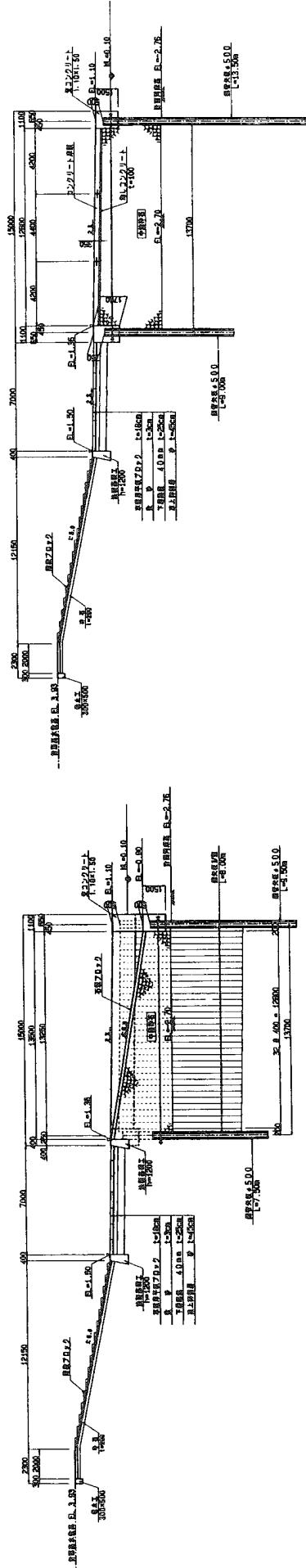
**) 水工部 Shinji SASAKI

船着場正面図

表 - 1 船着場護岸主要諸元	
杆	標 高 KP5.60
計画河床高水位	-2.76m
計画高水位	7.05m
計画築堤高	9.05m
計画高水流量	2200m ³ /s
天端高	1.60~1.10m
一尺長	25~35m
幅員	15m
敷幅	0.90m
勾配	1:8.0

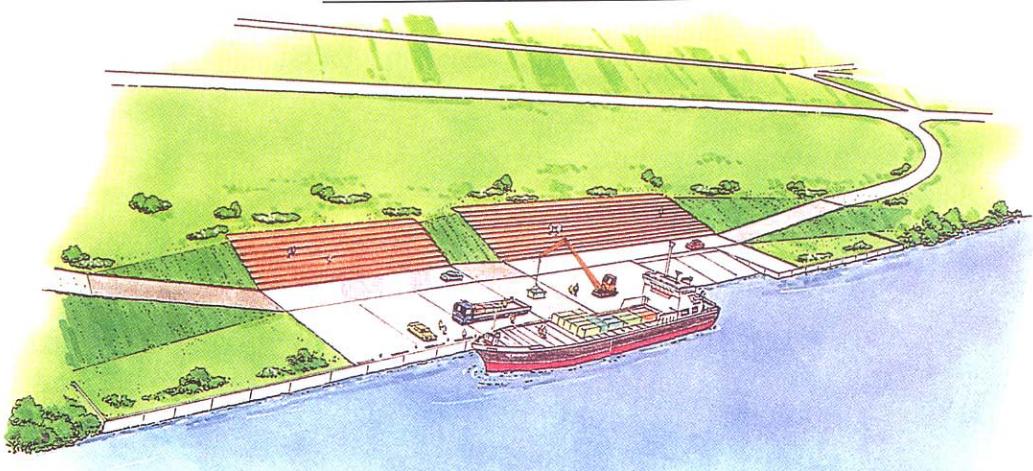


船着場 (EL 1.10)



船揚場 (EL 0.90)

災害時復旧物資搬入状況



平常時施設利用状況

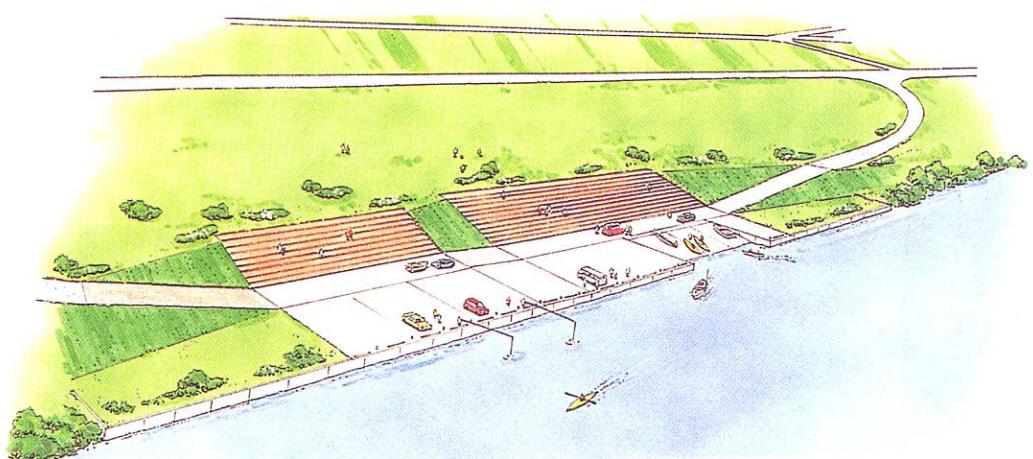


表-2 船着場護岸型式の比較表

形 式	棟 橋 式	U 型擁壁式	2重鋼管矢板式
断面形状			
構 造	<ul style="list-style-type: none"> 杭前面が洗掘された場合には、構造物の安定性に問題がある。 防錆又は、鋼材の腐食を考慮する。 <input type="triangle"/>	<ul style="list-style-type: none"> 壁体幅が広いため安定性は他の形式の中でもよい。 基礎杭が必要となる。 河床洗掘に対し、底版を最深河床高-2m程度根入れする必要がある。 <input checked="" type="circle"/>	<ul style="list-style-type: none"> 中詰を置換え鋼管矢板による二重壁を構築するため、構造物の安定性はよい。 防錆又は、鋼材の腐食を考慮する。 <input type="circle"/>
施 工 性	<ul style="list-style-type: none"> 陸上で施工できるため、施工が比較的簡単であり、迅速に工事を行うことができる。 護岸工の敷設は仮締切が必要となる。 <input checked="" type="circle"/>	<ul style="list-style-type: none"> 本体を現場打とした場合仮締切が必要となる。 最深河床高が低いため施工が困難であり、施工日数がかかる。 <input checked="" type="cross"/>	<ul style="list-style-type: none"> 陸上で施工できるため施工が比較的簡単であり、迅速に工事を行うことができる。 <input checked="" type="circle"/>
耐 震 性	<ul style="list-style-type: none"> 地震時に床版破壊、護岸部の崩壊、陥没等の可能性がある。 <input type="triangle"/>	<ul style="list-style-type: none"> 地震に対しては、他の形式に比べ最も強固であり、本体部が崩壊、陥没する可能性は小さい。 <input checked="" type="circle"/>	<ul style="list-style-type: none"> 地震に対しては、U型擁壁式の次に強固であり、本体部が崩壊、陥没する可能性は小さい。 <input type="circle"/>
経 済 性	2,020円/m	2,690円/m	1,750円/m
評 価	○	△	◎

3. 護岸の設計

3-1. 設計の考え方

本施設は、震災時及び震災復興において重要な役割を果たす構造物であることから、阪神・淡路大震災以降の耐震設計の傾向を踏まえた上で、設計条件、解析方法等を検討し設計を行ないました。

以下にその設計内容を記述します。

3-2. 耐震設計

施設が地震時に保持すべき耐震性能は設計震度により決定されます。

現行の河川構造物における設計震度は、空中 $K_H = 0.10$ 、水中 $K_H = 0.20$ を用いている事例が多いようです。しかし、本設計では極力構造物の耐震性を高める事を考慮し、次のように設計震度を検討しました。

(1) 設計水平震度 (K_H)

本設計では、震災に対する施設の重要度等を考慮し、現行基準における最大級の設計震度を用いるものとしました。

各基準により求めた当該地域の設計水平震度は次の通りです。

① 「道路橋示方書」（耐震設計編）

$$K_H = C_Z \cdot C_G \cdot C_I \cdot C_T \cdot K_{HO}$$

ここで、 C_Z ：地域別補正係数 (=0.85)
 C_G ：地盤別補正係数 (=1.20)
 C_I ：重要度別補正係数 (=1.00)
 C_T ：固有周期別補正係数 (=1.00)
 K_{HO} ：設計水平震度 (=0.20)

$$\therefore K_{HO} = 0.85 \times 1.20 \times 1.00 \times 1.00 \times 0.20 = 0.20$$

② 「建設省砂防技術基準（案）」

$$K_H = \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 \cdot K_O$$

ここで、 γ_1 ：地域別補正係数 (=0.85)
 γ_2 ：地盤別補正係数 (=1.20)
 γ_3 ：重要度別補正係数 (=1.00)
 K_O ：標準設計震度 (=0.20)

$$\therefore K_H = 0.85 \times 1.20 \times 1.00 \times 0.20 = 0.20 (0.40)$$

() 内は水中の見かけの震度

なお、重要度別補正係数 (γ_3) は 1.0 となっていますが、特に大規模でかつ影響の著しいもの及びその他特別な理由のある場合は 1.25 とすることができます。

従って、重要度別補正係数 $\gamma_3 = 1.25$ とすると設計水平震度は以下の通りとなります。

$$K_H = 0.85 \times 1.20 \times 1.25 \times 0.20 = 0.26 (0.52)$$

③ 「漁港構造物標準設計法」

表-3より設計震度 $K_H = 0.10$ となります。

表-3 設計震度

適用地域 構造物の区分	北海道（石狩、胆振、渡島、 知床、根室、日高〔新潟川〕開拓 〔千葉、東京、神奈川〕中部 〔静岡、愛知、滋賀、福井〕、 近畿〔全県〕、四国〔徳島〕）	北海道（宗谷、網走〔鄂霍 次、留萌〔宗吾〕、東北〔 山口〕、九州・沖縄〔福岡 、佐賀、長崎、鹿児島県の 奄美諸島を除く地域、沖縄〕）
陸揚岸壁 出漁埠岸壁	0. 15 (0. 20) 0. 15 (0. 20)	0. 10 (0. 10) 0. 10 (0. 10)
大型水門	0. 15 (0. 20)	0. 10 (0. 10)
併用 構造物 堤場	0. 10 (0. 10) 0. 05 (0. 10)	0. 05 (0. 05) 0. 05 (0. 05)
総 合 値	0 (0) 0 (0)	0 (0) 0 (0)

(注1) 堤防、護岸については設計震度を考慮することができる。

(注2) 第4種類（沖積層、洪積層）の厚さが、下記のいずれかの場合は () 内の震度を用いる。

① 一般の砂及び粘土地盤の厚さが25m以上の場合

② 欲望地盤の厚さが5m以上の場合
ここでいう欲望地盤とはN値が4以下の砂地盤、又は、q（一軸圧縮強度）が0.2kg/cm²以下の粘土地盤であり、通常いわれている欲望地盤の概念とは若干異なる。

(注3) 岸壁等と隣接する護岸等（取付護岸等）については、隣接する岸壁等の設計震度を考慮することができる。

④ 「漁港の施設の技術上の基準・同解説」

$$K_H = \text{地域別震度} \times \text{地盤種別係数} \times \text{重要度係数}$$

$$= 0.10 \times 1.20 \times 1.20 = 0.14$$

なお、重要度係数は、構造物が震害を受けた場合、多くの人命・財産の損失を与える恐れのあるもの、震災復興に重要な役割を果たすものは 1.5 まで引き上げができるものです。

従って、重要度係数=1.5 とすると設計震度は以下の通りです。

$$K_H = 0.10 \times 1.20 \times 1.50 = 0.18$$

以上より、各文献の基準による設計震度を求めた結果をまとめると表-4のようになります、②より求まる設計震度 $K_H = 0.26(0.52)$ を採用することとした。

表-4 設計水平震度比較

基準等	構造物の重要度	
	一般的な場合	最大とした場合
道路橋示方書	0.20	0.22
河川砂防技術基準	0.20 (0.40)	0.26 (0.52)
漁港構造物標準設計法	0.10	0.10
漁港の施設の技術上の基準	0.14	0.18

(2) 震度と設計震度

当該区域では、これまでに震度4以上の大地震を記録したことはありませんが、阪神大震災以降、想定震度を震度7とする傾向が強まっています。

一般的に震度と設計震度を理論解として関係づけることは、震度の取り決めが概念的である以上無理がありますが、過去の地震被災事例解析より提案されている関係式を用いて、本設計における震度と設計震度の互換性を検証しました。

ここに、 K_c ：作用震度（地震時に構造物に作用したと考えられる震度）

$$K_c = \frac{1}{3} \times \left(\frac{a}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (a \geq 200 \text{Gal})$$

a : 地盤最大加速度 (Gal)

g : 重力加速度 (=980Gal)

上式に採用した設計震度($K_c=0.26$)を代入すると地盤最大加速度 $a = 465 \text{gal}$ を得ます。

表-5から解るように震度7に相当するものと考えられ、設計条件として妥当な数値であると思われます。

表-5 震度と地盤最大加速度

震度	説明	地盤最大加速度
0	無感 人体に感じないで地震計に記載される程度。	0.8Gal 未満
1	微震 静止している人や、とくに地震に注意深い人だけに感ずる程度の地震動。	0.8~2.5Gal
2	軽震 大勢の人を感じる程度のもので、戸や障子がわずかに動くのがわかる程度の地震動。	2.5~8.0Gal
3	弱震 家屋が揺れ、戸や障子がガタガタと鳴動し、電灯のような吊り下げ物は相当揺れ、器内の水面の動くのがわかる程度の地震動。	8.0~25Gal
4	中震 家屋の動搖が激しく、すわりの悪い花瓶などは倒れ、器内の水は溢れ出る。又、歩いている人にも感じられ、多くの人が戸外に飛び出す程度の地震動。	25~80Gal
5	強震 壁に割れ目が入り、墓石、石灯籠が倒れたり、煙突・石垣等が破損する程度の地震動。	80~250Gal
6	烈震 家屋の倒壊は30%以下で、山崩れが起き、地割れが生じ、多くの人が立っていられない程度の地震動。	250~400Gal
7	激震 家屋の倒壊が30%以上に及び山崩れ・地割れ・断層などを生じる。	400Gal以上

3-3. 構造計算手法

構造計算は変位法によるものとし、鋼管矢板をフレームに置換えた骨組モデルを作成し、各土層ごとのバネを与え、各節点ごとに常時と地震時の応力及び変位を求めました。

また、鋼管矢板の根入長はこのモデルにおいて作用する水平荷重に対する安定から必要な根入長と、変位及び応力が収束するまでの根入長のいずれか大きい方としました。

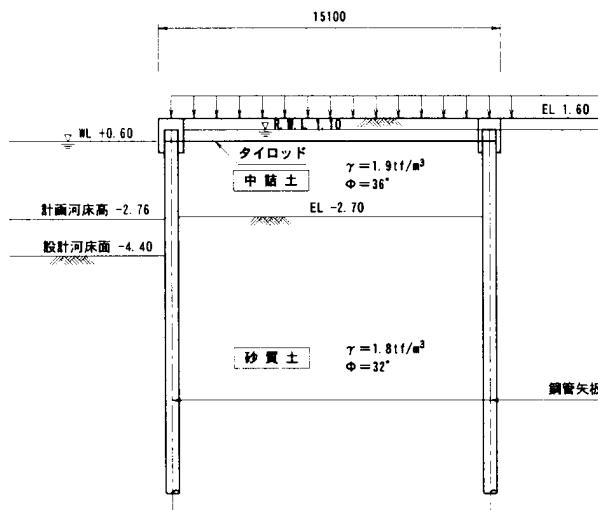


図-2 断面形状

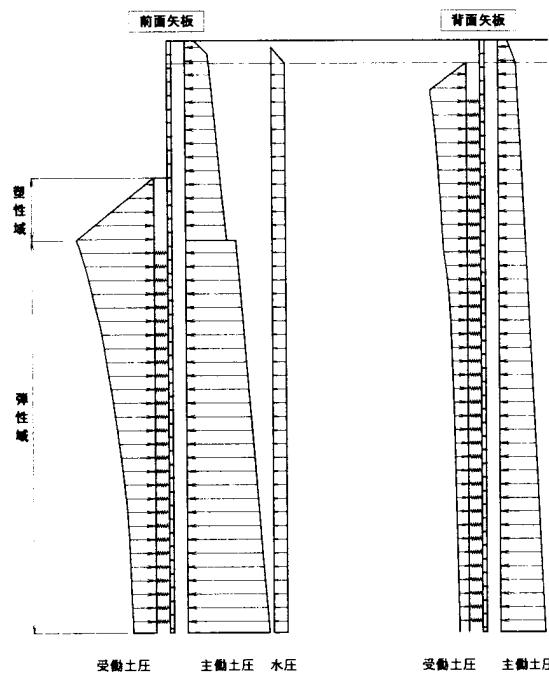


図-3 骨組み及び荷重図

曲げモーメント分布

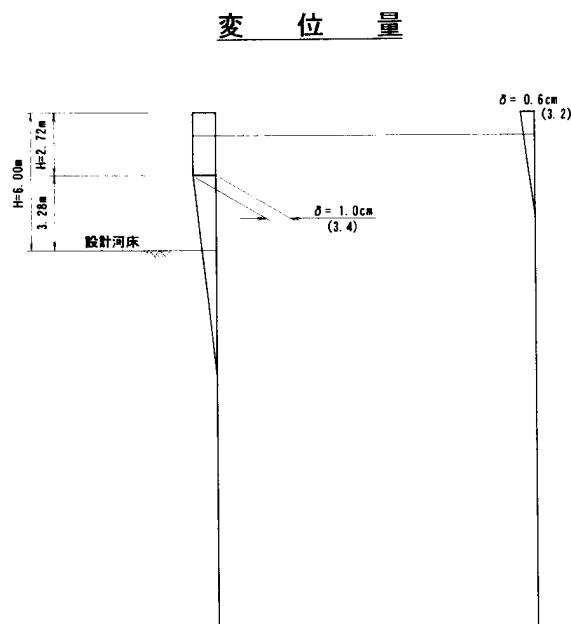
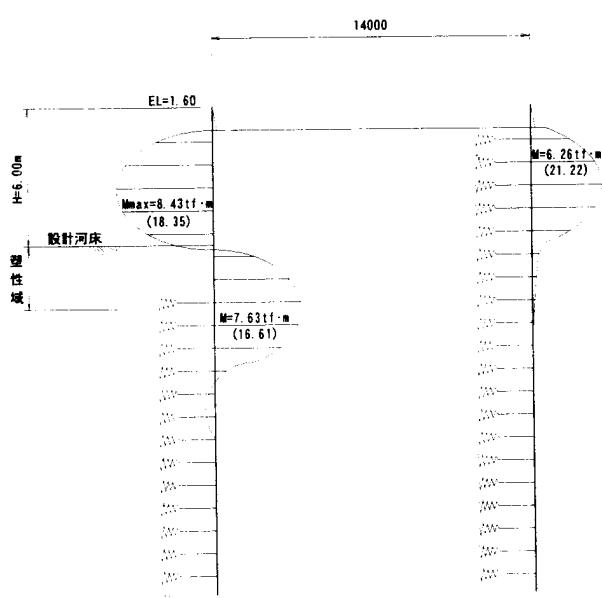


図-4 応力図

表-6 計算結果一覧表

	常 時	地 震 時
钢管矢板型式	$\phi 500$ $t=9\text{mm}$ (腐食代1mm)	
応 力 度 (%)	489	1230
変 位 量 (cm)	0.6	3.2
	前面側 (m)	12.50
钢管矢板長 (m)	背面側	5.50
緊張材の張力 (tf)		8.50
	5.14	11.07

3-4. 設計上の留意点

耐震性能の向上を図る上での配慮として、2重鋼矢板壁の前面側と背面側の矢板を連結するタイロッドには、通常のリングジョイントを使用せず、地震時の振れに対しどの方向に対してもフレキシブルとなる様に自在ジョイントを使用しました。

自在ジョイントの特徴は次のようになります。

- ① リングジョイントとターンバックルの両機能を備えており、機能的である。
- ② 曲げ方向が自由自在であり、地盤の圧縮、圧密、不等沈下など各種の沈下や横すべりによって、タイロッド本体にかかる曲げ応力を大幅に軽減することができる。
- ③ ジョイント箇所を減らしてもタイロッド機能は損なわず経済的である。

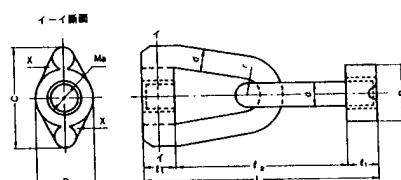


図-5 自在ジョイント姿図

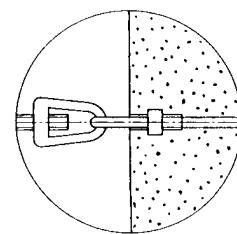


図-6 自在ジョイント取付図

4. おわりに

本設計は「道路橋示方書・同解説～V耐震設計編」改訂以前のものであることから、新耐震設計法により地震動レベル2（直下型地震～阪神大震災規模）に対する耐震強度の検証をしたいと考えています。

豊平川は公園緑地事業などによる親水機能に加え、本施設及びこれを防災拠点とする防災道路等の建設により、防災機能の強化が図られています。

しかし、豊平川にはその立地条件から更に有効利用が不可欠なものとして求められており、治水・利水・親水・防災機能を兼ね備えた自然豊かな河川空間を創出するため、今後とも積極的な取り組みが必要であると思われます。