

支持杭間に短杭を配置した杭基礎構造 (機能分担基礎構造)に関する研究

－機能分担基礎における群杭係数－

建築基礎技術委員会

1. はじめに

近年の建築市場では、鉛直方向の支持力性能を飛躍的に向上させた高支持力杭工法が基礎杭の主流になっている。この高支持力杭工法は、高い支持力性能をもとに、柱下に打設する杭の本数を減じるまたは杭を小径化することで杭工事のコストを削減しようとするものである。反面、高支持力杭工法では、建物全体に配置される杭断面の減少に伴って、杭頭部には過大な応力が発生する傾向にある。

現行の基礎杭設計では、建物を安全に支持するために、常時・地震時に鉛直・水平荷重が杭基礎に作用した際の構造安全性を検証することが義務付けられている。このため、建物の鉛直荷重に対して最小限の杭断面にて基礎杭を配置できたとしても、地震時水平力に対して安全性が確保できなければ、杭断面・杭本数を増す等で対処しなければならない(図1参照)。特に高支持力鋼管杭工法では、杭材強度や工場での製造限界から本数を増さなければ対処できない場合が多く、その結

果、競合杭種に対してコスト競争力が低下する状況を招いている。

機能分担基礎とは、建物の基礎構造として杭を用いる際に、柱直下に配置される支持杭のほかに地震時の水平力を負担する短杭を配置した構造形式である(図2参照)。短杭に地震時水平力を負担させることで、柱直下の支持杭の応力を軽減しようとするものである。

2. 機能分担基礎における技術課題

機能分担基礎では、柱直下の支持杭間に短杭を配置するため、従来の支持杭基礎に比較して群杭による影響(群杭効果)がより大きくなることが予測される。

群杭効果を表す定数としては群杭係数が一般に知られているが、その評価法については、従来から『建築基礎構造設計指針¹⁾』(以下、基礎指針)や『建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計²⁾』(評価法-1:以下、「護らによる評価法」)等に記されている。

しかし、これらの評価法は杭径・杭長が同一の場合を想定したものであるため、長杭と短杭が混在する機能分担基礎では、新たな群杭効果の評価法が必要となる。

3. 既往の群杭係数評価式の検証

支持杭基礎における水平方向の群杭係数の評価法はいくつかあるが、その評価値には若干の差がある。ここでは、FEM解析結果をもとに既往の群杭係数評価式との比較を行った。

(1) FEM解析の概要

解析モデルは1列配置の群杭とし、杭径1000mm、板厚20mm、長さ20mの鋼管杭に対していくつかの地盤要素モデルを設定した。杭本数は2本、3本、10本とし、杭間隔は2m、3m、6m、9mとして汎用構造解析コードABAQUSにて解析を実施した(図3参照)。表1に解析条件を示す。

ただし、双曲線モデルについては以下の考え方を適用し、地盤特性を設定した。

地盤の応力-ひずみ関係はDuncan & Changによる双曲線にて近似すると

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{\varepsilon}{[1/E_i + \varepsilon/(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}]}$$

$(\sigma_1 - \sigma_3)$: 地盤要素に生じる主応力差
 ε : ひずみ

E_i : 双曲線近似された地盤の応力-ひずみ関係の初期勾配

$(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$: 双曲線モデルの極限強度の関係式が得られる。

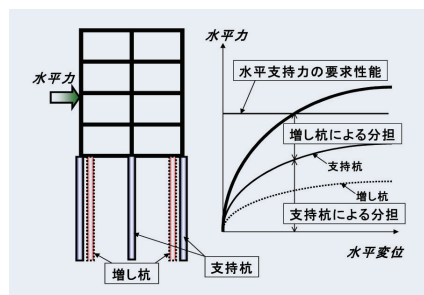


図1 従来の杭基礎構造

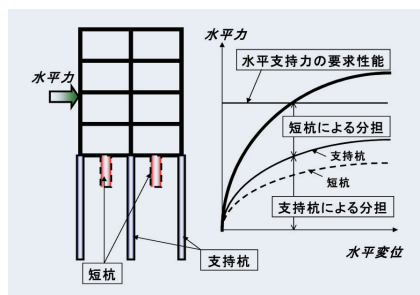


図2 機能分担基礎構造

表1 FEM解析の条件

種別	地盤特性		杭本数	杭間隔 (m)	記号
	地盤要素モデル	地盤剛性			
弾性モデル	弾性	1000kN/m ² (N値1相当)	2	6.0	弾性
接触要素モデル	弾性 杭表面に接触要素	1000kN/m ² (N値1相当)	2	6.0	接触
		10000kN/m ² (N値10相当)	3	6.0	1000kN/m ² 接触 10000kN/m ²
引張剛性低下モデル		10000kN/m ² (N値10相当) 水平方向ひずみ+100μにて 引張剛性は1/1000に低下	2	2.0	引張剛性低下
				3.0	
				6.0	
				9.0	
双曲線モデル	双曲線 (Duncan & Changモデル) N値1相当 自重による剛性増加考慮	杭頭変位 10mmより算定	2	2.0	双曲線 10mm
				3.0	
				6.0	
				9.0	
				3.0	
		杭頭変位 100mmより算定	2	2.0	双曲線 100mm
				3.0	
				6.0	
				9.0	
				3.0	
			10	6.0	

表2 地盤の要素特性

変数名	設定値	備考
破壊比 R_f	0.85	最大主応力と双曲線モデルの極限強度との比
内部摩擦角 ϕ (°)	19.47	$\phi = \sqrt{20N + 15}$
粘着力 c (MN/m ²)	0.00625	$c = 0.00625N$ (N=1の地盤と仮定)
パラメータ K	94.25	$(\sigma_1 - \sigma_3)$ と ϵ との関係から算定
大気圧 P_a (MN/m ²)	0.1	
係数 n	0.6	実験等から求まる係数 (0.6と仮定)

また、杭頭変位 δ は同一であるので

$$H_{all} / \delta = 4E \cdot \Sigma I_i \cdot \beta_i^3$$

となる。ここで、 β_i を構成する η を変化させ、左右両辺が一致するときの η を群杭係数とする。

この式の E_i に Janbu の実験式、三軸圧縮試験における最大主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ に Mohr-Coulomb の破壊基準を適用して整理すると、応力-ひずみ関係の接線弾性係数 E_t として下式が得られる。

$$E_t = \left[1 - \frac{R_f (1 - \sin \phi) (\sigma_1 - \sigma_3)}{2 \cdot c \cdot \cos \phi + 2 \cdot \sigma_3 \cdot \sin \phi} \right]^{-2} K \cdot P_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n$$

地盤剛性は応力-ひずみ関係の接線弾性係数であるので、上式に表2の値を代入しこれを算出する。なお、地盤の単位体積重量は $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ 、ポアソン比は $\nu = 0.45$ とし、地盤の深さ方向による剛性変化を考慮するため、自重解析による応力を初期応力 σ_1 、 σ_3 とした。

(2) 解析結果にもとづく群杭係数の算出

解析結果をもとに、以下の考え方を適用し、群杭係数 η を算出した。

まず、支持杭の各杭 i に作用する水平力を H_i 、水平変位を δ 、曲げ剛性を EI_i 、弾性床の上のはり理論による特性値を β_i とすると、下式が与えられる。

$$H_i = 4EI_i \cdot \beta_i^3 \cdot \delta$$

ここで、1本の杭に対する地盤反力係数を k 、群杭係数を η 、杭径を B_i とすると特性値 β_i は

$$\beta_i = \sqrt[4]{\frac{\eta k B_i}{4EI_i}}$$

となる。全水平力を H_{all} 、各杭に作用する水平力を H_1 、 H_2 、… とすると

$$H_{all} = H_1 + H_2 + \dots = \Sigma H_i$$

(3) 簡易評価式と解析結果の比較

杭が2本の場合の群杭係数と杭間隔／杭径の関係を図4に示す（注：シンボル記号は各記号の重なり部分を見やすくするため、若干ずらして表記）。この図から、

- ①杭間隔が大きくなっても群杭の影響が認められる。
- ②杭間隔／杭径が6の場合で比較すると、群杭係数は弾性＜接触＝引張剛性低＜双曲線の順となる。
- ③双曲線モデルで比較すると、同一の杭間隔／杭径においては水平変位が大きい方が群杭係数は大きい。
- ④既往の群杭係数評価式（基礎指針の方法、「護らによる評価法」、道示³⁾の方法、JR⁴⁾の方法）と解析結果を適比較すると、「護らによる評価法」が解析結果に最も近い。

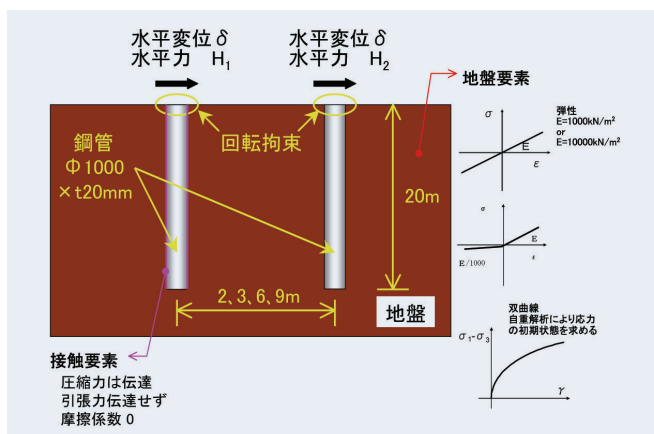


図3 FEM解析モデル (2本杭の場合)

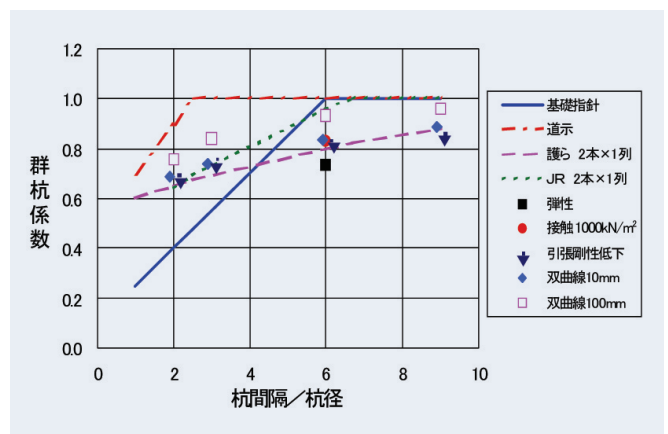


図4 群杭係数と杭間隔／杭径の関係 (杭2本の場合)

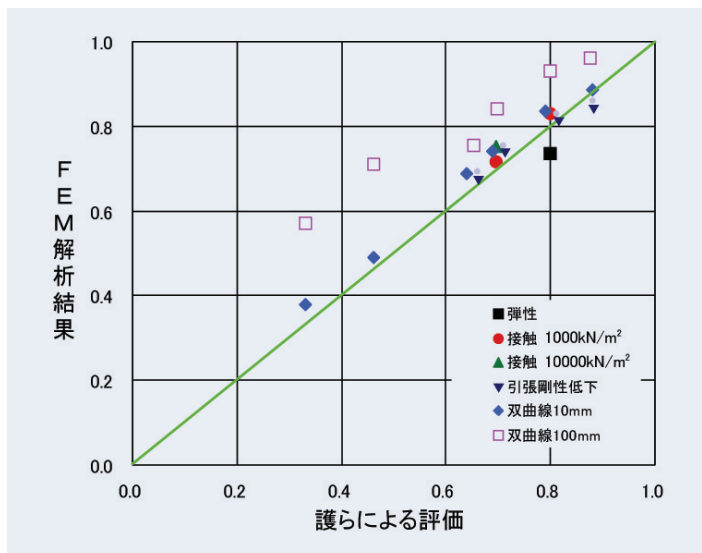


図5 解析結果から算出した群杭係数と「護らによる評価法」との比較

ことがわかる。

また、図5は解析結果から算出した群杭係数 η と「護らによる評価法」との比較である。双曲線100mmの場合では、解析結果が大きめの値を示すものの、両者の算定結果は概ね等しい。

4. 機能分担基礎の群杭係数評価式

(1) 短杭の長さが隣接杭に及ぼす影響

弾性地盤中において、地表面から深さ L の区間に一様な線荷重 p が水平方向に作用するとき、地表面に生じる載荷方向の応力度 σ_x はミンドリン第Ⅱ解より算定できる。この地表面に生じる載荷方向の応力度 σ_x は、遠方になるに従って小さくなる傾向にある(図6参照)。

図7は位置 x_0 ($=4 \sim 8\text{m}$)での $\sigma_x/(p/D)$ と深さ L との関係の試算例であるが、 $\sigma_x/(p/D)$ は L が長くなるにつ

れ大きくなり、最大値($=E$)に至る性状を示す。この E となる L ($=LE$)が隣接杭に及ぼす影響が最も大きいため、これを長い杭と評価される限界長さ($=0.75\pi \cdot 1/\beta$)と同等として隣接杭への影響を検討した。

いま、 $\sigma_x/(p/D)$ を E で除したものを隣接杭に与える影響度合い χ と考え、 χ と $\beta \cdot L$ ($=0.75\pi \cdot L/LE$)の関係を示すと図8の通りとなる。この図から隣接杭に与える影響度合い χ は

$$\chi = \beta \cdot L / 1.5 \quad \beta \cdot L < 1.5$$

$$= 1.0 \quad \beta \cdot L \geq 1.5$$

と評価できる。

(2) 機能分担基礎の群杭係数評価式

機能分担基礎における群杭係数 η は、短杭の長さが隣接杭に及ぼす影響を考慮し、支持杭のみで評価した群杭

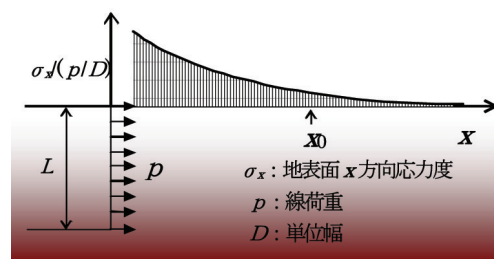


図6 検討モデルのイメージ

係数 $\eta_{\text{支持}}$ と短杭も含めた全杭で評価した群杭係数 $\eta_{\text{全杭}}$ の間にあるものと考え

$$\eta = \eta_{\text{支持}} - \chi (\eta_{\text{支持}} - \eta_{\text{全杭}})$$

とした。ただし、 β を求めるときの杭径・曲げ剛性は全杭の平均値、 L は短杭の長さとし、 $\eta_{\text{支持}}$ 、 $\eta_{\text{全杭}}$ は「護らによる評価法」により算出する。

5. 機能分担基礎における群杭係数評価式の検証

機能分担基礎を模擬したFEM解析により、群杭係数評価式の検証を行った。

(1) FEM解析の概要

解析モデルは1列配置の杭群とし、杭径1000mm、板厚20mm、長さ20mの支持杭(鋼管杭：杭間隔=6m)に対して中間に短杭が設置される配置とした。

いくつかの地盤要素モデルに対して支持杭は2本、3本、10本配置、短杭は杭径600mm、1000mm、1200mm、長さ3m、5m、10mとして汎用構造解析コードABAQUSにて解析を実施した(図9参照)。解析ケースを表3に示す。

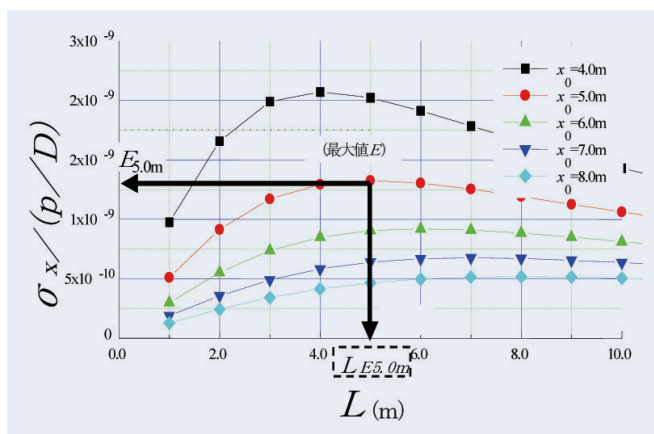


図7 $\sigma_x/(p/D)$ と深さ L との関係の一例

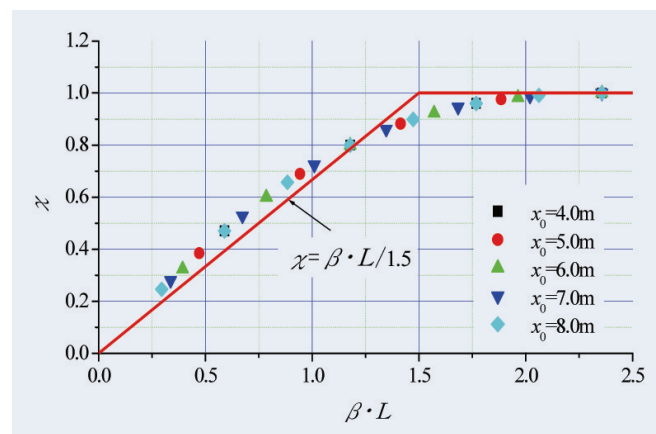


図8 χ と $\beta \cdot L$ の関係

表3 解析ケース

地盤特性 δ : 杭頭変位量	全杭 本数	短杭		
		本数	径B (m)	長さL (m)
弾性 $\delta=10\text{mm}$	3	1	0.6, 1.0, 1.2	5.0
接触地盤剛性 1000kN/m ² $\delta=10\text{mm}$	3	1	0.6, 1.0, 1.2	5.0
	5	2	0.6	3.0, 5.0, 10.0
			1.0	3.0, 5.0, 10.0
接触地盤剛性 10000kN/m ² $\delta=10\text{mm}$	5	2	1.2	3.0, 5.0, 10.0
			0.6	3.0, 5.0, 10.0
			1.0	3.0, 5.0, 10.0
引張剛性低下 $\delta=10\text{mm}$	3	1	1.0	5.0
双曲線 $\delta=10\text{mm}$	3	1	1.0	5.0
	19	9	0.6	5.0, 10.0
			1.0	5.0, 10.0
双曲線 $\delta=100\text{mm}$	3	1	1.0	5.0
	19	9	0.6	5.0, 10.0
			1.0	5.0, 10.0

(2) 解析結果にもとづく群杭係数の算出

機能分担基礎の群杭係数 η は、FEM解析より得られた杭群の杭頭変位量 δ と各杭の杭頭水平力 H から

- ①支持杭の変形性状はたわみ変形とし、短杭の変形性状は図10に示すたわみ変形または剛体変形と仮定する。
- ②たわみ変形の場合は弾性床土上の半無限長ばりの杭頭水平力 H_{Chang} 、剛体変形の場合は剛体変形の杭頭水平力 $H_{\text{剛体}}$ に従う。
- ③短杭の杭頭水平力は、杭頭水平力は $\beta \cdot L$ に応じて

$$\beta \cdot L \leq 1 : H_{\text{剛体}}$$

$$\beta \cdot L > 1 : H_{\text{Chang}}$$

とする(図11参照)。

として、以下のように算出した。

まず、1本の杭に対する地盤反力係数を k とし、 $\beta_i \cdot L_i > 1$ なる杭 i の径を B_i 、断面二次モーメントを I_i とすると、杭 i に作用する水平力は

$$H_i = 4EI_i \cdot \beta_i^3 \cdot \delta$$

このとき、杭の特性値 β_i は

$$\beta_i = \sqrt[4]{\frac{\eta k B_i}{4EI_i}}$$

となる。次に $\beta_j \cdot L_j \leq 1$ なる杭 j の径を B_j 、長さを L_j とすると、杭 j に作用する水平力は

$$H_j = \eta \cdot k \cdot B_j \cdot L_j \cdot \delta$$

となるが、全水平力を H_{all} 、各杭に作用する水平力を $H_1, H_2, \dots$ とすると

$$H_{\text{all}} = H_1 + H_2 + H_3 \dots \\ = \Sigma H_i + \Sigma H_j$$

が成立する。ここで、杭頭変位 δ は同一であるから

$$H_{\text{all}} / \delta = 4E \cdot \Sigma I_i \cdot \beta_i^3 + \eta \cdot k \cdot \Sigma B_j \cdot L_j$$

が導出される。この η を変化させ、左右両辺が一致するときの η をFEM解析による機能分担基礎の群杭係数とする。

(3) 機能分担基礎の群杭係数

FEM解析による群杭係数と評価式での算定値との比較を図12に示す。

FEM解析による群杭係数は、地盤特性を弾性とした場合では評価式による算定値より若干小さいものの、地盤の非線形性の影響が大きくなるほど群杭係数は大きくなる傾向にある。また、非線形性の影響が比較的小さい変形時($\delta = 10\text{mm}$)から求めた群杭係数は、評価式による算定値と概ね一致することがわかる。

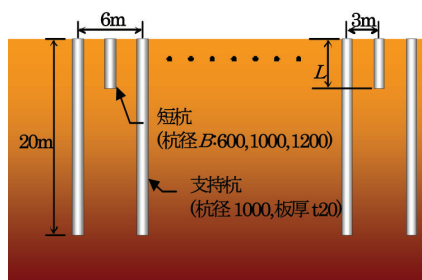


図9 杭配置

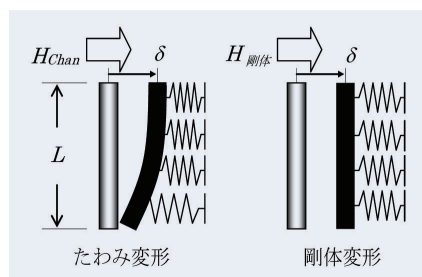


図10 短杭の変形

6. おわりに

機能分担基礎は、支持杭間に短杭を配置することで支持杭応力を低減させる基礎形式である。本基礎形式は、杭基礎のコスト低減に有用であるとともに、耐震補強にも応用できるなど、多くの発展性を備えている。本研究では、FEM解析結果から機能分担基礎における群杭係数の評価法を提案したが、今後は実験等でその妥当性を検証することも必要である。

(参考文献)

- 1) 日本建築学会、建築基礎構造設計指針、2001.10
- 2) 日本建築学会、建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計、2006.2(本文献において、群杭係数の評価法-1を引用)
- 3) 日本道路協会、道路橋示方書・同解説、2002.3
- 4) 鉄道総合技術研究所、鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物、2000.6

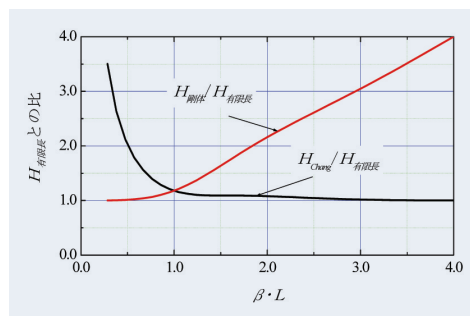
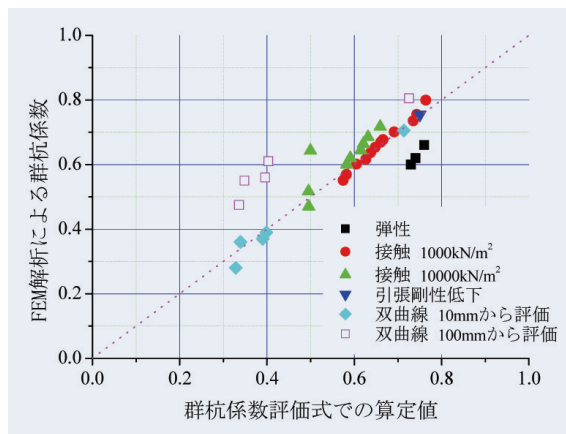
図11 $\beta \cdot L$ と $H_{\text{剛体}}/H_{\text{有限長}}$ 、 $H_{\text{Chang}}/H_{\text{有限長}}$ 

図12 群杭係数の比較

ハット形鋼矢板の重防食被覆の 耐久性に関する研究

鋼矢板技術委員会

1. はじめに

ハット形鋼矢板は、経済性、施工性、構造信頼性の向上を目的に近年開発された鋼矢板であり、港湾構造物に適用する際には、適用できる防食対策を確立させる必要がある。そこで、鋼管杭・鋼矢板協会では、港湾空港技術研究所らとともに、ハット形鋼矢板に重防食被覆工法を適用した場合の鋼材の防食及び重防食被覆の耐久性について定量的な評価を実施した。

本研究では、被覆端部及び疵部の劣化進展及び鋼材腐食について検討し、耐久性を評価するとともに、ハット形重防食鋼矢板の構造性能評価を行い、ハット形重防食鋼矢板の維持管理方法および具体的な点検診断方法の提案を行った。

ここでは、1) 重防食鋼矢板の劣化進行モデルおよび耐用年数予測式、2) 被覆内部への劣化進展速度、3) ハット形重防食鋼矢板の腐食量の設定 についてその概要を示す。

2. ハット形重防食鋼矢板の防食仕様

2.1 防食の層構成

被覆層の構成は図-1に示すように従来のU形鋼矢板で使用された防食層と同様の構成となる。防食層の厚みは、U形鋼矢板と同様に2.0mm以上の厚みとなる。

2.2 断面方向の重防食被覆範囲

ハット形重防食鋼矢板の断面方向の被覆範囲を図-2に示す。継手かん合部の詳細な被覆範囲を図-3に示す。継手かん合部のウレタンエラストマーによ

る被覆層の膜厚保証範囲は、継手かん合部端部から $20 \pm 10\text{mm}$ および $60 \pm 10\text{mm}$ の範囲となる。

この継手かん合部に関しては無防食に近い状態となるため、一般的には、端部シール材を被覆することで、継手かん合部の防食を行っている。

2.3 防食層の物性

ハット形重防食鋼矢板に適用されるウレタンエラストマーの物性は、従来より使用されているU形重防食鋼矢板と同様のもので、表-1に示す性能を満足したものである。

したがって、基本的には被覆防食が

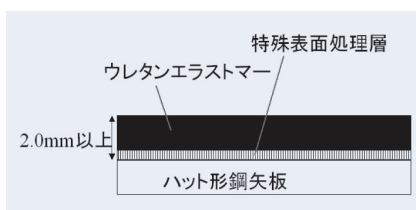


図-1 ハット形重防食鋼矢板の断面構成

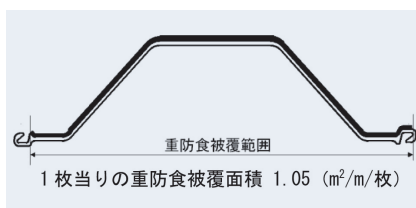


図-2 ハット形重防食鋼矢板 (SP-10H) の被覆範囲

施されている箇所の鋼材の防食性能は、U形鋼矢板と同等の性能を持つと考えられる。

3. 重防食鋼矢板の劣化進展に関する耐久性評価

3.1 重防食鋼矢板の耐久性評価方法

(1) 重防食被覆の劣化進行メカニズム

重防食被覆層は非常に高い環境遮断性を持つため、被覆層が健全である場合には腐食は発生しないと思われる。したがって、重防食鋼矢板の劣化は、重防食被覆端部または疵部などの鋼材露出部の腐食に伴う被覆層の剥離によって生じると考えられる。

重防食被覆端部で発生する腐食は、露出した鋼材表面がアノードとなり、その周囲の重防食被覆層下の鋼材表面がカソードとなると考えられる。こ

表-1 ウレタンエラストマーの物性値

項目	数値
比重 (JIS K6911)	1.0g/cm³以上
引張強さ (JIS K7113)	785N/cm²以上
伸び (JIS K7113)	30%以上
硬さ (JIS K7215)	H ₀ D 50以上
吸水率 (JIS K7209)	0.35%以下
体積抵抗率 (JIS K 6911)	$1.0 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上
鋼材との接着力 (DIN 30671 プルオフ法)	295N/cm²以上

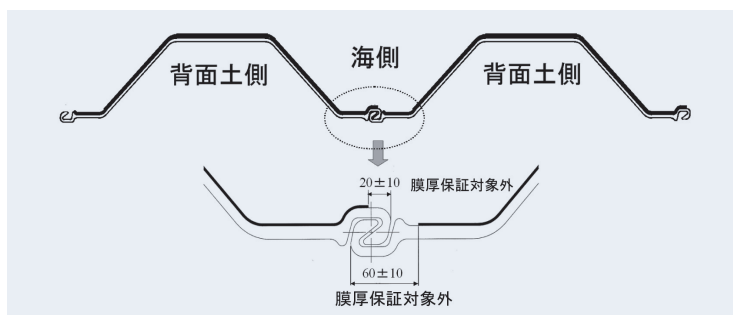


図-3 ハット形重防食鋼矢板の継手部の被覆範囲

のため、被覆層下では酸素還元反応（カソード反応）で生成される水酸基（OH⁻）の加水分解作用によって剥離が生じると推定される。ただし、鋼材表面の溶液がアルカリ性を保つこともあり、被覆層に剥離が生じて、鋼材が不動態化するために、腐食は生じないと考えられる。その後、被覆層の剥離が進展することで被覆端部に浮きが生じ、防食効果が失われた時点で被覆端部から徐々に腐食が内部へ進行すると考えられる。

ここで、重防食被覆層の劣化進行について、被覆層の剥離が生じている距離を「劣化進展距離」とし、被覆端部から進行する鋼材腐食の距離を「錆進入距離」とする。したがって、劣化進展距離と錆進入距離は異なる。

(2) 重防食被覆の寿命評価手法の考え方

既往の研究における寿命推定の考え方¹⁾を踏襲し、重防食被覆材端部の劣化進展に伴う被覆防食の寿命予測を行う。重防食被覆材端部の劣化進行モデルを図-4に示す。重防食鋼矢板の劣化は、被覆端部となる継手かん合部付近および鋼材まで達する疵部からの被覆防食層の剥離によって生じるが、経年的な劣化進行による耐久性の評価を行うにあたっては継手かん合部からの劣化が主たる劣化要因と考える。

重防食被覆の劣化進行は、図-4に示すように、「潜伏期」「進展期」「劣化期」の3期に分けることができると考えられる。

「潜伏期」は、被覆端部の保護のために施した端部シールの劣化が進行する期間とした。

「進展期」は、端部シールの寿命により鋼材の腐食発生に伴い、重防食被覆

端部の剥離が開始する時期から徐々に剥離が進行し、劣化進展距離の限界値（被覆防食の性能の限界値）に達するまでの期間とした。この限界値は、既往の研究結果から急激な劣化進展が起きない範囲として55mmとする。

「劣化期」は、被覆防食の性能の限界値を上回った時期からとした。すなわち、早急に被覆防食の補修または更新が必要となる期間である。これら3期に分割することで、重防食被覆の寿命を推定することとした。

寿命評価手法の基本的な考え方を以下に示す。

- 1) 無防食鋼材の腐食速度と重防食被覆端部の劣化進展速度は比例関係にあるため、鋼材の腐食速度から劣化進展速度を推定することができる。したがって、実験で得られる鋼材の腐食速度および劣化進展速度をもとに、実環境下における劣化進展速度を予測する。
- 2) ハット形重防食鋼矢板と、U形重防食鋼矢板の端部シール材の効果は同等とみなし、ハット形重防食鋼矢板の劣化進行モデルでの劣化潜伏期間は、既往の研究結果から7年とする。
- 3) 補修が必要となる被覆防食の寿命は、劣化進行モデルの潜伏期間を7年とし、それに劣化進展期間を加えたものとして推定する。

式.1に重防食被覆防食の寿命推定の予測式を示す。

$$t = T_i + \frac{W}{v} \dots\dots\dots (式.1)$$

ここで、

t：重防食被覆鋼矢板の被覆防食の寿命（劣化度aに達するまでの期間）（年）

Ti：実構造物で観察された劣化進展（剥離）が始まるまでの期間。潜伏期間（=7年）

W：劣化度aに達する時の劣化進展距離（mm）

v：重防食層の劣化進展速度（mm/年）

(3) 耐久性評価のための試験

重防食被覆端部の剥離による劣化進展に対する長期耐久性を評価するため、劣化促進試験を実施し、その促進倍率を定量的に評価した。促進倍率の決定は、供試体の被覆端部の劣化進展速度を測定するとともに、無被覆鋼材の腐食速度を測定し、これらの関係から実環境下での劣化進展速度を推定する。

劣化促進試験は、海水中・干満帯の促進試験として空気吹き込み塩水浸漬試験（図-5）を、飛沫帯に相当する試験として（独）港湾空港技術研究所の暴露試験施設を用いた海水シャワー試験（写真-1）を行った。

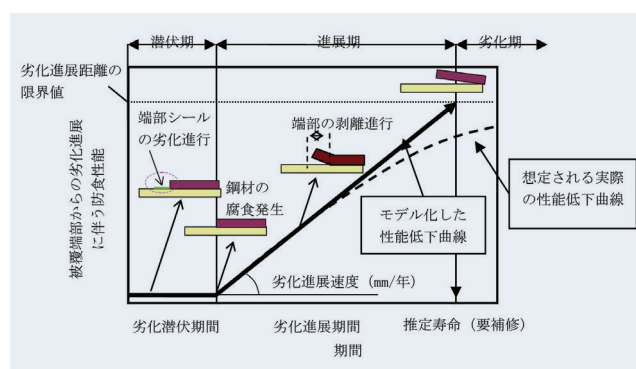


図-4 重防食被覆防食の性能低下曲線

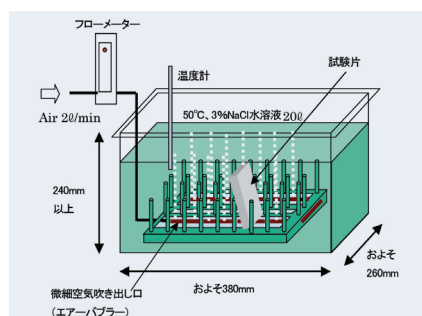


図-5 空気吹き込み塩水浸漬試験装置概略図

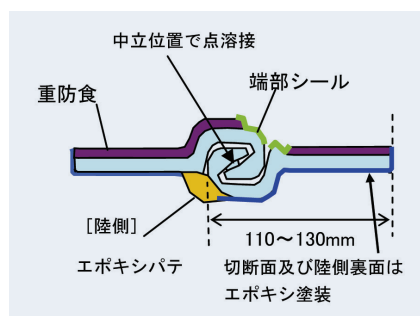
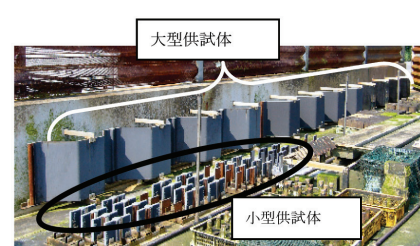


図-6 継手かん合部（標準：端部シールあり）



50cm 大型供試体：25Hを4体、10Hを4体+4体
15cm かん合部供試体：25H（16枚）、10H（16枚）

写真-1 供試体の暴露状況

尚、試験体はハット形重防食鋼矢板を切断加工し、継手かん合部を模擬している(図-6)。

(4) 劣化進展速度の推定結果

今回実施した試験結果及び既往の試験結果からアレニウスプロットによる劣化進展速度の推定式は(式.2)で表わすことができる(図-7参照)。

$$\ln(v) = -4.86 \cdot \left(\frac{1}{T} \times 1000 \right) + 17.75 \quad \dots\dots\dots (式.2)$$

ここで、

v : 劣化進展速度 (mm/年)

T : 絶対温度 (K)

これより、20℃の環境下における劣化進展速度は3.2mm/年と推定される。

また、腐食速度と劣化進展距離の関係は、海水中の場合は(式.3)によって、干満帯・飛沫帯の場合は(式.4)によって予測できると考えられる。(図-8参照)

$$v = 6.6 \times v_{corr} \quad \dots\dots\dots (式.3)$$

$$v = 10.7 \times v_{corr} \quad \dots\dots\dots (式.4)$$

ここで、

v : 劣化進展速度 (mm/年)

v_{corr} : 鋼材の腐食速度 (mm/年)

海中部の場合、鋼材の腐食速度の標準値が0.1~0.2mm/年となることから、劣化進展速度は0.7mm~1.3mm/年と推定できる。また、飛沫帯、干満帯の場合は、鋼材の腐食速度が0.1mm~0.3mm/年となることから、劣化進展速度は1.1mm~3.2mm/年と推定できる。

これらの結果から、安全側の耐久性評価となるように、海中部、干満帯、飛沫帯の環境に関わらず、被膜端部から剥離する速度である劣化進展速度は、3.2mm/年とする。

(5) 重防食層内部への腐食の進展

海水シャワー試験結果から得られた劣化進展距離と錆進入距離の時間変化より、干満帯、飛沫帯における鋼材の腐食量分布を図-9に、海中部における鋼材の腐食量分布を図-10に示す。

被覆損傷部については、同様の試験結果から被覆端部の劣化進展と同程度かそれ以上の速度で進行することが判明した。被膜損傷部は速やかに補修する必要がある。

4. ハット形重防食鋼矢板の腐食

ハット形鋼矢板は、継手が矢板壁の外縁に位置するため、重防食被覆が劣化し腐食が進展した場合には矢板壁の断面性能も低下する。

そこで、前章までの知見から、重防食鋼矢板の性能低下曲線は図-11に示す値とし、ハット形重防食鋼矢板のそれぞれの部位ごとの腐食量は図-12に示す値を用いることで、供用中の腐食量が推定できると考えられる。

5. おわりに

ハット形重防食鋼矢板について、既往のU形重防食鋼矢板に関する研究成果と合わせ、被覆材の劣化進展ならびに鋼材腐食についての評価を紹介した。本研究成果により計画的な維持管理に貢献できるものと考えられる。

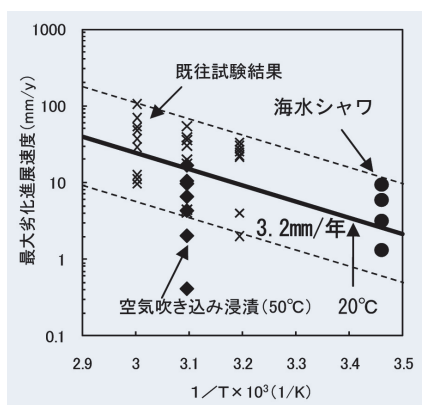


図-7 アレニウスプロットによる最大劣化進展速度の推定結果 (供試体切断端部の結果)

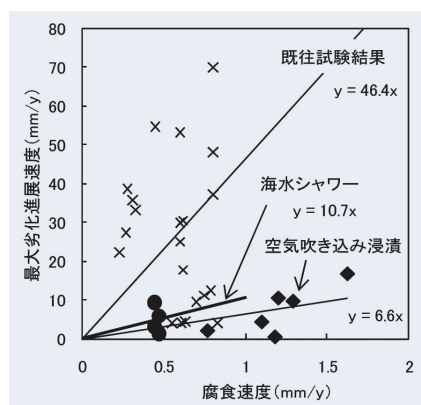


図-8 無被覆鋼材の腐食速度に対する最大劣化進展速度の関係 (供試体切断端部の結果)

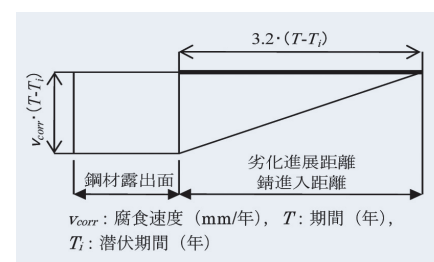


図-9 干満帯、飛沫帯の鋼材の腐食量分布

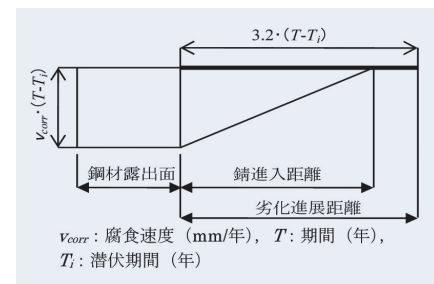


図-10 海中部の鋼材の腐食量分布

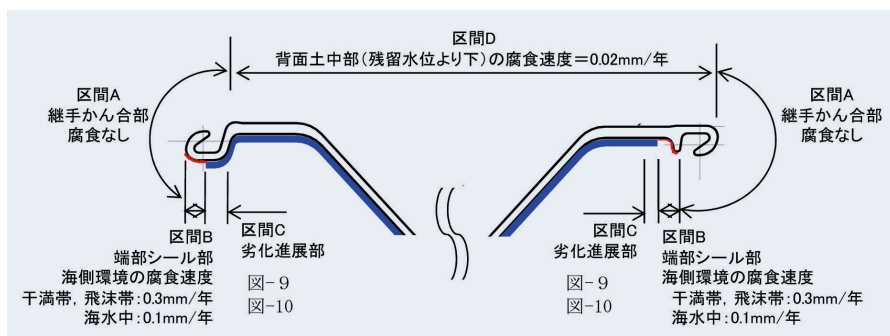


図-12 ハット形重防食鋼矢板の腐食

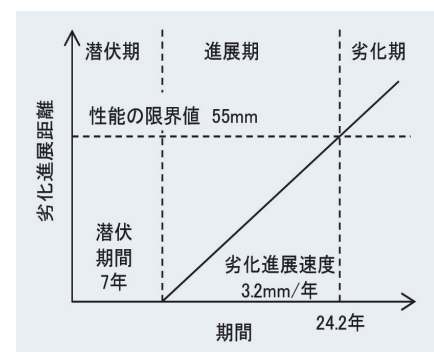


図-11 重防食鋼矢板の性能低下曲線