

D滑走路 埋立 / 棧橋接続部の設計
～地盤変形を抑制する鋼管矢板井筒護岸の構造～

J V 工務・設計監理 Gr 加藤浩司

鹿島 新原雄二

キーワード： 接続構造、鋼管矢板井筒護岸、軽量混合処理土、
高耐力鋼管矢板継手、高置換サンドコンパクションパイル

1. まえがき

埋立/棧橋接続部（以下、「接続部」と呼称）は、D滑走路建設工事における最重要構造物の一つであり、技術検討委員会の指摘である「鋼管矢板井筒護岸構造の常時変位及び地震時残留変位について、より一層の抑制の可能性等構造系の最適化について引き続き検討することが必要である」を踏まえて実施設計を行った。

本稿では、接続部の実施設計に関する種々の技術検討結果報告の第1回目として、接続部構造の概要と基本設計方針及び鋼管矢板井筒護岸の設計概要について述べる。

2. 接続部の構造概要

2-1 要求性能と接続部構造形式の選定

接続部構造に対しては、

異種構造物間を安全に航空機が通過するための滑走路としての性能。

供用期間中及び地震時の異種構造物間の相対変位を安全に吸収できる構造。

供用期間中及び地震時の沈下や変形を極力少なくする護岸及び構造物基礎としての性能。

100年間の耐久性を確保するとともに維持管理が可能な構造。

などの性能が要求され、滑走路として変形・沈下を極力抑止することが重要である。接続部護岸構造に関しては護岸としての性能のみならず、棧橋構造との接続部及び構造物基礎として安全性・使用性を確保することを重視し、滑走路の変形及び棧橋部への影響を構造的に抑えることで確実に要求性能を満足させるべく、護岸構造として高耐力継手を用いた鋼管矢板井筒護岸を採用した。さらに、背面埋立部には軽量混合処理土を、前面には押え盛土（前面マウンド）を配して護岸の変形を極力低減するよう配慮し、護岸上部には埋立部と棧橋部の相対変位を吸収する伸縮装置を設置して渡り桁で接続する護岸構造とした。図2-1に接続部の構成及び構造各部の特徴を示す。

2-2 接続部各部の構造概要

2-2-1 鋼管矢板井筒護岸の構造

鋼管矢板井筒護岸は接続部護岸全長にわたって打設される2列の鋼管矢板 1600（外壁部）と、それと直角に滑走路方向に打設される鋼管矢板 1600（隔壁部）からなる24個の連続した矩形セルから形成される。隔壁部の鋼管矢板の継手にはせん断耐力の大きい高耐力継手を使用し、鋼管矢板の頂部を頂版で結合することにより、井筒としての剛性を高めている。

2-2-2 地盤改良と背面埋立部の構成

鋼管矢板井筒護岸の前面（棧橋側）は、背面埋立荷重に伴う前面側への変形抑制を目的として、軟弱粘性土層（層）下端までを高置換サンドコンパクションパイル工法（以下、SCP）による地盤改良を行い、前面マ

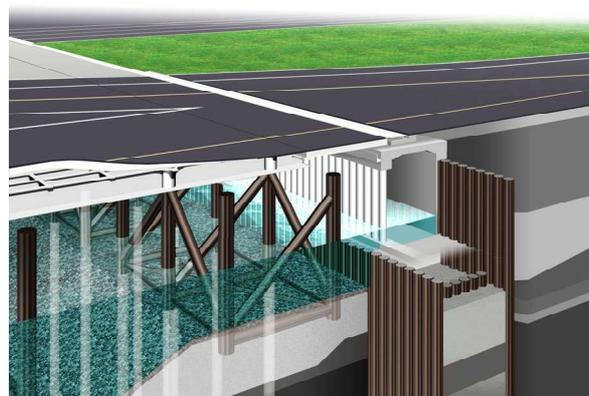
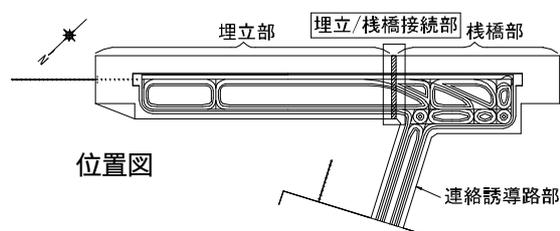
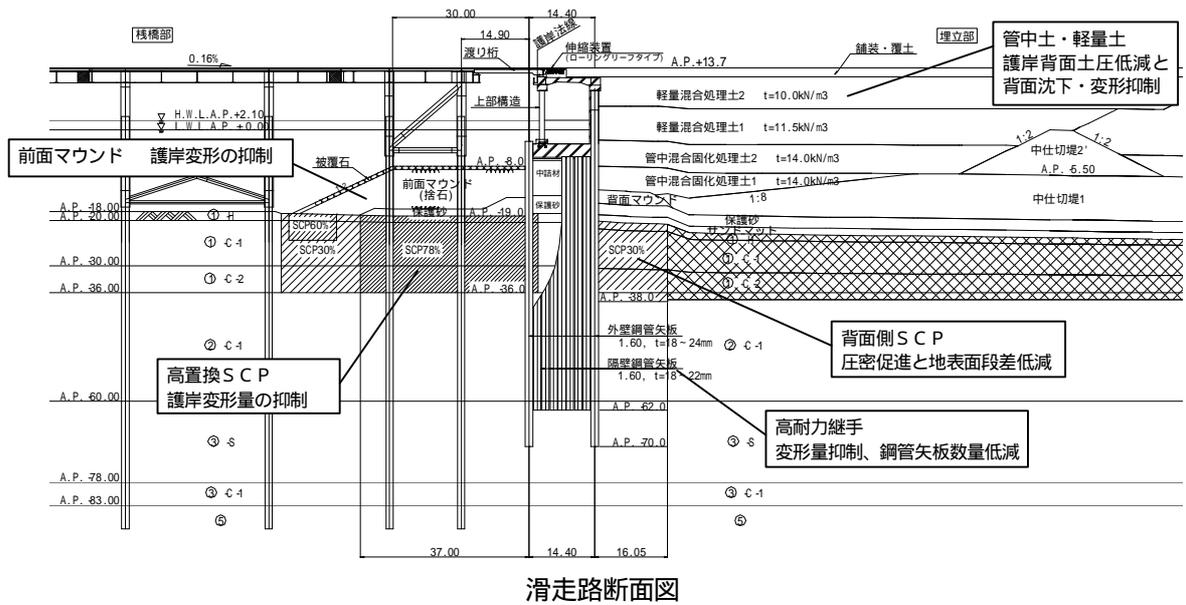
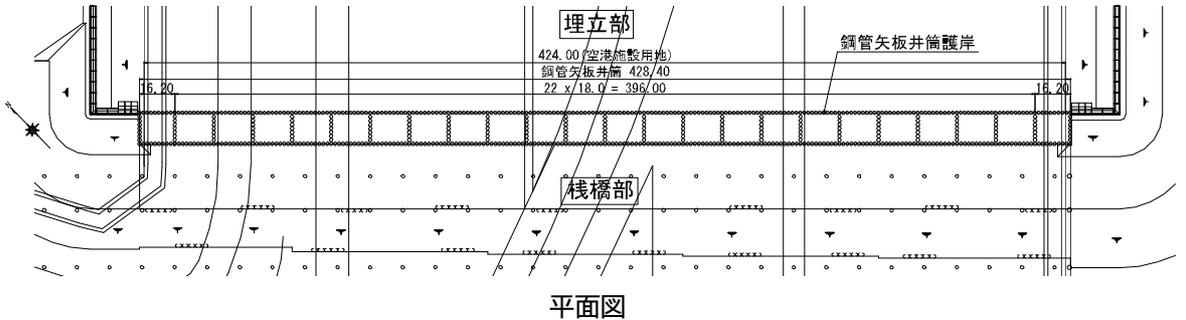


図 1-1 埋立/棧橋接続部の全体構造



滑走路断面図



平面図

図 2-1 埋立 / 栈橋接続部の構造

マウンドを構築する。護岸背面については、低置換 SCP による地盤改良により地表面の段差対策を行うとともに、埋立材として管中混合固化処理土、軽量混合処理土を使用することにより圧密沈下の低減を図った。

2-2-3 上部構造

鋼管矢板井筒護岸の上部構造には、反射波による構造物や周辺環境への影響を軽減することを目的として、円形スリットを用いた消波護岸構造を採用した。さらに、施工性の向上による工程確保と工場製作による品質向上を図るためプレキャスト工法を採用した。図 2-2 に接続部上部構造の構成を示す。

2-2-4 伸縮装置

栈橋部と護岸部の温度変化時、地震時の相対変位を吸収するために伸縮装置を設置する。滑走路部の伸縮装置にはファンシャル空港の滑走路に使用されている実績があり、国内においても大変位への追随性が必要な長大橋梁で実績の多いローリングリーフ形式の伸縮装置を採用した。実機を用いた性能確認試験を実施し、変形追従性、強度、疲労耐久性の確認を行った。試験状況を写真 2-1 に示す。

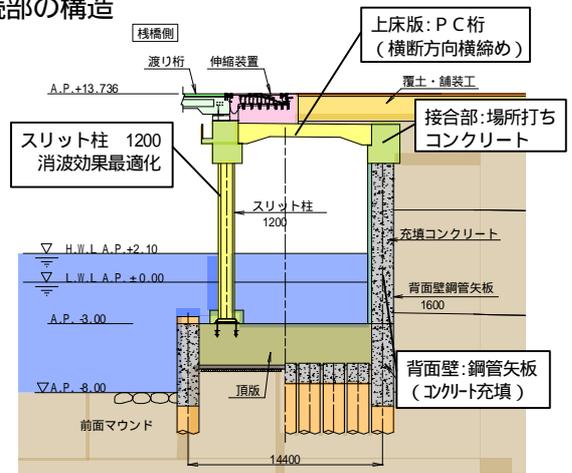


図 2-2 埋立 / 栈橋接続部上部構造



写真 2-1 ローリングリーフ伸縮装置

3. 接続部の設計方針

3-1 接続部の全体設計フロー

接続部の設計フローを図3-1に示す。実施設計においては、要求水準書等の性能要件に加え基本設計に関する附帯事項も踏まえて、接続部構造の最適化を行った。

接続部構造の根幹をなす鋼管矢板井筒護岸については、構造形式・規模、鋼管径、継手形状など、実績の少ない構造であり、かつ、地盤変形の影響を大きく受けるという特有な条件を考慮して、立体骨組みモデルによる設計(静的設計)、施工中・供用期間中の地盤変形に対する弾粘塑性解析による照査(常時FEM照査)、地震時の地盤変形に対する動的解析FLIPによる照査(地震時FEM照査)の3つの設計手法により最適化を図った。

頂版、上部構造、渡り桁・支承、伸縮装置の各部材の設計については、通常的设计荷重に対する断面設計に加えて、100年間の耐久性を確保するため、鋼部材については防食対策、コンクリート部材に対しては曲げひび割れ、塩化物イオン濃度の照査を行った。

3-2 鋼管矢板井筒護岸の設計方針

鋼管矢板井筒護岸の設計に用いた3つの設計手法の特徴を表3-1に示す。静的設計は、従来から道路橋の鋼管矢板基礎の設計手法の一つとして体系化されているもので、継手の非線形を考慮した立体骨組み解析モデルに各種設計基準や要求水準書で規定された設計荷重を静的に作用させることにより断面設計を行うものである。静的設計では地盤の効果を地盤パネとしてモデル化しているが、地盤変形による構造物への影響を考慮できないため、地盤と鋼管矢板井筒を一体でモデル化したFEM解析も併せて行い、地盤変形に対する鋼管矢板井筒断面の照査を行った(FEM照査)。具体的には、施工中～供用期間中の地盤変形に対しては関口・太田モデル(修正カムクレイ型)による弾粘塑性解析(自重解析)、地震時の地盤変形に対しては有効応力法非線形動的解析(FLIP)を用いた。

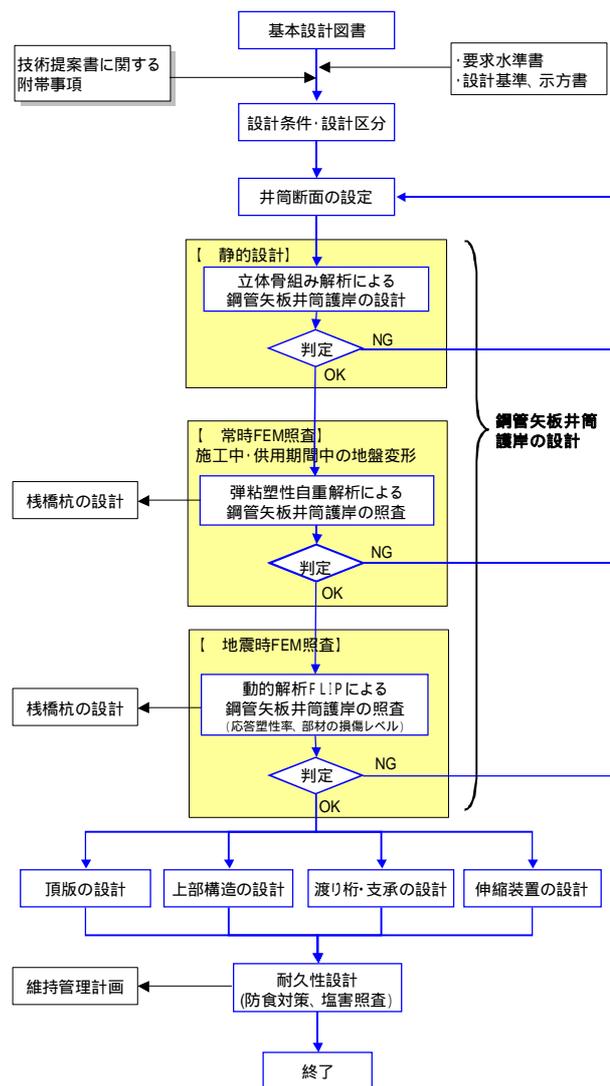


図3-1 埋/栈橋接続部の設計フロー

表3-1 鋼管矢板井筒護岸の設計手法の特徴

手法名	位置づけ	特徴
静的設計： [立体骨組みモデル+荷重作用]による設計	要求水準書に規定された「常時及び地震時に作用する荷重を適切に設定し発生応力に対する十分な強度を確保」に対応。	鋼管矢板基礎の設計手法の一つとして体系化されており実績豊富。完成時、地震時、施工時に作用する荷重(土圧など)に対して鋼管矢板井筒断面を設計する手法。
FEM照査： 地盤と鋼管矢板井筒を一体でモデル化したFEM解析による照査	常時FEM照査(自重解析)	要求水準書で、施工中～供用期間中の地盤変形に対しては関口・太田モデルと同等以上のモデルによる弾・粘塑性解析を標準的な手法として規定。
	地震時FEM照査(FLIP)	要求水準書で、地震時の地盤変形に対してはFLIPによる動的解析を標準的な手法として規定。

4. 鋼管矢板井筒護岸の設計概要

4-1 鋼管矢板井筒護岸の静的解析

静的設計に用いた解析モデルを図4-1に示す。鋼管矢板井筒1セル分の鋼管矢板1本ずつを3次元モデルでモデル化し、鋼管矢板同士を継手のせん断強度を考慮した非線形バネで結合した。地盤については水平・鉛直方向の地盤バネ(弾塑性バネ)として考慮し、井筒内部の地盤、中詰材についてはソリッド要素でモデル化した。この3次元モデルに、常時(死荷重、航空機荷重、土圧等)、地震時(慣性力 $k_h = 0.22$ 、動水圧)、暴風時(波力)の各ケースの設計荷重を載荷して、鋼管矢板の発生応力度の照査を行った。

4-2 施工時・供用期間中の変形照査(自重解析)

接続部護岸は軟弱地盤上に高盛土構造であるため、施工期間中から比較的大きな水平変位が発生することが予想される。したがって、鋼管矢板井筒護岸の設計においては、施工中から供用期間中に生じる護岸変形に十分配慮した設計とするため、埋立に伴う粘性土の圧密状態や地盤改良の効果、施工履歴の影響を評価できる関口・太田モデル(修正カムクレイ型)を用いた地盤FEMモデルの中に、鋼管矢板継手を考慮した鋼管矢板をモデル化した弾・粘塑性解析(自重解析)を実施し、施工中～供用期間中の変形照査及び鋼管矢板の発生応力度の照査を行った。

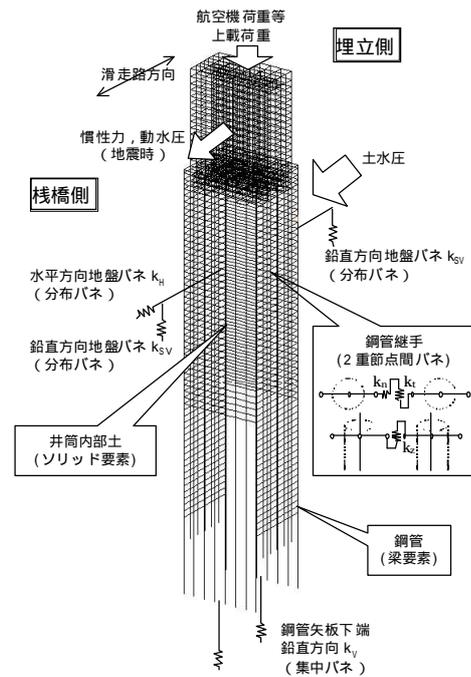


図4-1 静的設計に用いた3次元解析モデル

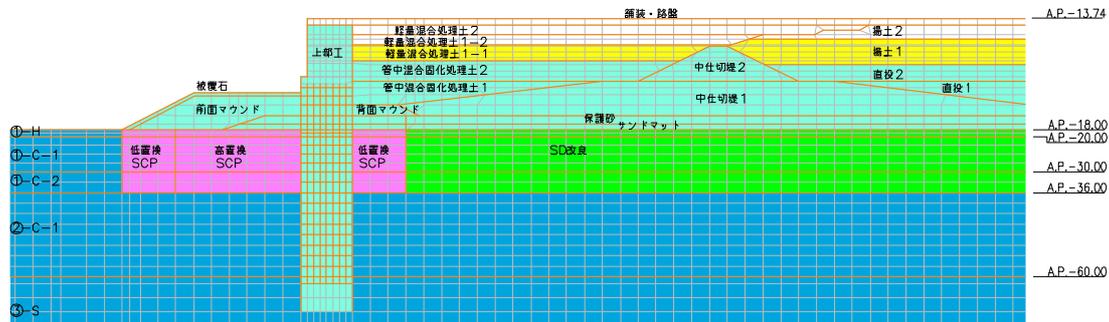


図4-2 自重解析モデル図

4-3 地震時の変形照査 (FLIP 解析)

FLIP 解析においても、自重解析同様に地盤 FEM モデルの中に鋼管矢板井筒をモデル化することにより、八戸 439gal 波やシナリオ地震等の地震波に対する変形照査、井筒構造の応答塑性率、鋼管矢板部材等の損傷度の照査等を行った。

5. あとがき

本稿では、埋立/栈橋接続部の構造概要と設計基本方針及び鋼管矢板井筒護岸の設計の概要を紹介した。今後、施工中・供用期間中の弾・粘塑性解析，接続部構造の地震時照査，上部構造の設計等の重要技術課題についても報告する予定である。

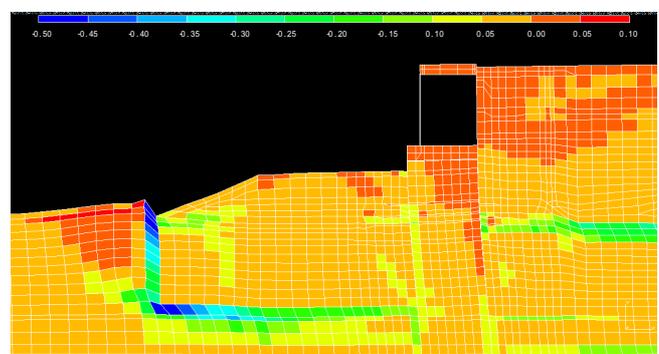


図4-3 FLIP 解析結果の一例
(シナリオ地震時の残留ひずみ分布)