

I - 127

鋼コンクリートのサンドイッチ合成構造を用いた沈埋函の試設計

運輸省第三港湾建設局 正会員 南兼一郎 (株)リエンタルコンサルタンツ 正会員 吉川 孝
同 上 正会員 中島由貴 同 上 正会員 岸本雅文

1. はじめに

鋼コンクリートのサンドイッチ合成構造(以下「サンドイッチ構造」)を用いた沈埋函の施工では、躯体の製作過程において、通常の鉄筋コンクリート(以下「RC」)構造物の施工において必要とされる支保工、型枠工、配筋工、コンクリート打設工のうち、先の3工種が不要となる。工種の削減は品質管理の面でも有利である上、工期の短縮も可能であり、ひいては経済性の向上がおおいに期待できるものと考えられる。

本稿は、部材をサンドイッチ構造とした沈埋函のモデル設計を行い、応力面での現実性を確認するとともに、沈埋函としての適用性について考察を行ったものである。

2. 設計の条件

以下の条件により、沈埋函の横断面に着目した試設計を行った。

断面形状:高さ8.8m×幅12.5m(図-1)、荷重状態:常時(自重、土圧、静水圧)、埋戻し厚2.0m、堆積土厚2.0m
設計水深:約20m(構造物天端)、使用材料:鋼板SM490Y、型鋼SS400、コンクリート $\sigma_{ck}=300\text{kgf/cm}^2$ (高流動)

3. 構造の概要

コンクリート部材の両面を鋼板で挟み込んだ構造であり、鋼板内面に設けた補剛材を供用時にはシアコネクタとして利用する。表面鋼板はウェブとダイヤフラムにより結合している(図-2)。

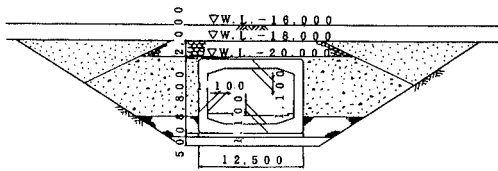


図-1 沈埋函の断面

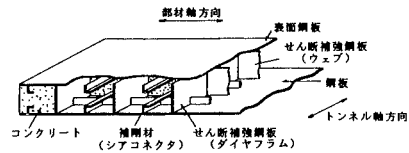


図-2 部材の構造

4. 設計の手法

試設計は、「神戸港港島トンネル沈埋部合成構造設計指針(案)」¹⁾(以下「港島指針案」)に準じた。港島指針案は「鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)」²⁾を基本とし、さらに同トンネル設計のため各種の実験を加え定めたもので、許容応力度法による設計を原則としている。設計法の概要は次のとおりである。

- ①曲げモーメントと軸力に対する設計; 表面鋼板をかぶりがゼロの引張鋼材として取り扱い、通常の鉄筋コンクリート慣用理論にて応力度を算定する。表面鋼板とコンクリートがずれないことが前提となる。
- ②せん断力に対する設計; コンクリートの平均せん断応力度が許容応力度を越える場合は、せん断補強鋼板(ウェブ)に負担させる。式-1においてウェブ厚を t_w 以上とすれば、鋼板応力度は許容応力度に収まる。

$$t_w = S / \{ \sin^2 \alpha (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot z \cdot \sigma_{sa} \} \quad \text{式-1}$$

ここで、 S ;せん断力(kgf)、 z ;アーム長(cm)、 σ_{sa} ;せん断補強鋼板(ウェブ)の許容引張応力度(kgf/cm²)

α ;トラス機構の引張部材が部材軸となす角度、 θ ;コンクリートの圧縮材が部材軸となす角度

- ③ずれ力に対する設計; 表面鋼板内面の補剛材およびダイヤフラムをシアコネクタとして利用した。着目範囲における許容ずれ力の総和 ΣQ_a が、作用ずれ力 H を下まわらないように型鋼を配置した。指針案では実験により型鋼のずれ耐荷力を求め、安全率を3として許容ずれ力を定めており、L-150×90×9を使用した場合、その値は25tf/mである。また、ダイヤフラムの許容ずれ力 Q_a は、式-2により算出した。

$$Q_a = t \times w_{sc} \times \sigma_{wsa} / \sqrt{3} \quad \text{式-2}$$

ここで、 t ：ダイヤフラムの板厚(cm)、 wsc ：ダイヤフラムの幅(cm)、 σ_{wsa} ：鋼板の許容引張応力度(kgf/cm²)

5. 試設計の結果

供用時の合成構造部材としての設計に先立ち、施工時の鋼殻設計を行った。これは「施工時（主にコンクリート打設時）に支保工を用いず打設可能な剛度を有する型枠」としての鋼板厚と補剛材配置を決定するものである。その結果、表面鋼板厚は8～10mm、ウェブとダイヤフラムの板厚は9mmとなった。また、補剛材としての山型鋼はL-150×90×9が主体である（図-3）。

合成後の照査では、外面の表面鋼板から腐食代として1～2mm差し引き、表面鋼板厚を全て8mmとして設計した。代表的な断面（図-4）をとりあげ、設計結果の概要を示す。なお、断面力は単位幅あたりの値である。

①曲げモーメントと軸力に対する設計；節点A(M=162tfm、N=105tf)における応力度は以下のとおりである。

- ・表面鋼板の引張応力度 $\sigma_s = 1500\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{sa} = 2100\text{kgf/cm}^2$ (OK)
- ・コンクリートの圧縮応力度 $\sigma_c = 72\text{kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 100\text{kgf/cm}^2$ (OK)

②せん断力に対する設計；節点B(S=91t)におけるコンクリートの平均せん断応力度は $\tau_m = 8.3\text{kgf/cm}^2$ となり、 $\tau_{a1} = 4.5\text{kgf/cm}^2$ を超えるため、ウェブにより負担させるものとし、必要板厚を求めた。

- ・ウェブの必要板厚 $t_w = 0.72\text{cm} < \text{実板厚 } t = 0.9\text{cm}$ (OK) $\rightarrow \sigma_s = 1680\text{kgf/cm}^2$

③ずれ力に対する設計；着目範囲Cにおける許容ずれ力の総和 ΣQ_a は以下のとおりである。

- ・作用ずれ力 $H = 119\text{tf} < \text{許容ずれ力の総和 } \Sigma Q_a = 148\text{tf}$ (OK)

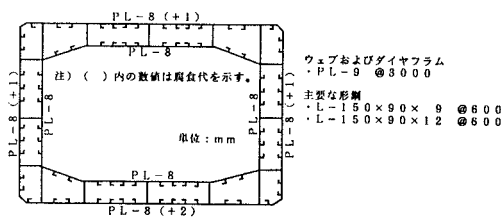


図-3 使用板厚

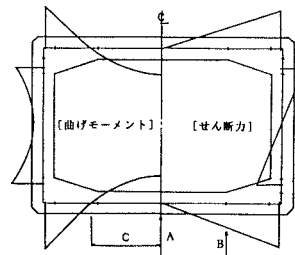


図-4 照査位置

5. 考 察

本モデルのサンドイッチ構造では、施工時に必要な鋼板厚と補剛材配置を決定しておけば、供用時に合成構造として、曲げと軸力、せん断力およびずれ力の全ての点で許容応力度を十分に満足することが確認できた。このことは、サンドイッチ構造が鋼板や型鋼を支保工および型枠などの仮設材としての役割と、引張鋼材や防水鋼板などの本体構造物としての役割とを兼用できる合理的な構造であることを意味する。

また、同モデルにて別途検討したRC構造の沈埋函と比較すると総鋼重量はほぼ等しい結果となった。鉄筋と鋼殻の単価差はあるものの、RC構造ではコンクリート打設時に支保工と型枠工が別途必要である点、サンドイッチ構造では工種が少いため、ドックの使用期間が短縮できる点、さらには洋上打設も可能である点などを考慮すれば、総コストや適用性の面ではサンドイッチ構造の方が有利であることが推察できる。

6. おわりに

試設計で用いた指針案は、神戸港に建設される港島トンネルを適用対象として制定されたものである。本トンネルにおいても、構造面、施工面、経済性の面などで、より具体的でより詳細な検討を十分に行った上で、サンドイッチ構造部材を採用する結論に至った。現在では、細部構造や施工要領の検討がほぼ完了し、函体製作の準備が行われている段階である。最後になりましたが、本指針案作成にあたりご尽力を費やされた関係者の方々に感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 運輸省三港建神戸調査設計事務所：神戸港港島トンネル沈埋部合成構造設計指針(案)、平成7年3月
- 2) 土木学会：鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)、平成4年7月