沈埋函高流動コンクリート浮遊打設時の函体変形解析

Deformation Analysis of Composite type Immersed Tunnelduring Self-compacting Concrete Casting at Floating

村本哲二* MURAMOTO, Tetsuji

* (財)沿岸開発技術研究センター 調査部 主任研究員

Immersed tunnel element is constructed by filling self-compacting concrete in sandwich member in moored condition in front of a pier. As the size of a rubber gasket is affected by the execution accuracy of an element edge, it is important to predict deformations for each element during concrete casting. Three dimensional finite element method and two dimensional framed structure analysis are adopted for the element deformation analysis. It is proved that the two dimensional framed structure analysis is most suitable for the present case.

Key Words : self-compacting concrete, composite type, immersed tunnel, concrete casting at floating, deformation analysis

1. はじめに

那覇港(那覇ふ頭地区)道路(空港線)の沈埋トンネ ルでは鋼コンクリート合成構造の沈埋函が用いられてお り,鋼殻を県外で製作し,県内に曳航後,高流動コンク リートを海上浮遊打設する方法が採用されている.

鋼コンクリート合成構造沈埋函の海上浮遊打設製作は わが国で初めてであり、平成12年11月より約2ヶ月 間にわたり洋上に浮遊された状態の第1号沈埋函鋼殻へ のコンクリート打設が実施された.

本報告は、第1号沈埋函コンクリート浮遊打設時の実 測変形量と、実際の施工状態を考慮して設定したパラメ ータを用いて解析した予測変形量との比較・検証を行い、 第2号函以降の製作工事の施工管理に役立つ函体変形量 を予測できる最適解析手法について検討したものである.

2. 那覇港沈埋トンネル計画概要

本トンネルは昭和63年2月に行われた那覇港港湾計 画における臨港交通施設の一環として,那覇港と那覇空 港,本島南部間とのアクセスを強化し,今後増大する港 湾貨物等の円滑な交通処理を図るために計画された臨港 道路である.主なトンネル諸元を以下に示す.

- ・車 線 数 : 片側3車線, 往復分離6車線
- ・ シンネル 断 面 : 36.9 m×8.7 m (幅×高さ)
- ・函割:8函(92m×2函+90m×6函)

3. 函体変形計測工について

3.1 計測目的

洋上にてコンクリート打設し製作される沈埋函では, 従来のドライドックで製作されていた沈埋函のように, 製作誤差や温度変化による鋼殻の変形を後付けの端面プレート等により吸収することができない.また,各函体の接合には水圧接合法が用いられるが,この場合,端部出来型が非常に重要となるため,計測が必要である.

さらに,第2号函以降の函体の変形量を函体製作前に 把握して,継手部止水ゴムの仕様等を変更できれば,工 費縮減につながるので,その解析検討のために種々の計 測データが必要である.

3.2 計測項目および計測頻度

図-1 に示すような要因による沈埋函の変形量把握および予測変形解析を行うにあたり必要となる計測項目は、 ①吃水高 ②変位(測量) ③水温 ④気温 ⑤コンク リート温度 ⑥鋼板温度の計6項目である.



図-1 沈埋函変形概念図

変位(測量)以外の計測項目についての計測は、自動 計測により1時間毎に行った.一方、変位計測は各ブロ ックのコンクリート打設終了時かつ1週間に2回程度、 日照の影響による変形が少なく、外気温、水温の安定す る夜間に行った.なお、変位計測は沈埋函内外に200 箇所の測点を設け、3次元測定システム(図-2参照)に よりコンクリート浮遊打設後の函体変形を測定した. ここで、コンクリートの打設順序については、平成10 年度に行った事前検討結果に基づいており、1日当たり のコンクリート打設可能量を考慮し、打設途中で函体に 発生するモーメントが最小となる順序で行った.以下に 横断面の打設ステップを示す.また、函軸方向の打設順序は 函軸方向に沈埋函を16分割し、函軸中心線を対称にして、 ブロック⑥→2→⑧→④→5→①→⑦→③の順である.





図-3 函軸方向ブロック分割

3.3 計測結果

(1) 相対たわみ・相対端面変位の定義

相対たわみとは、空港側上床版端面と三重城側上床版 端面とを結ぶラインを基準線とし、そこから上床版中央 までの垂直距離である.ただし、沈埋函が上に凸の状態 のとき、正の値をとるものとする(図-4参照).

相対端面変位とは、空港側上床版端面と三重城側上床 版端面とを結ぶラインを水平に保った状態で、空港側、 三重城側それぞれの上床版端面と下床版端面との水平距 離である.ただし、それぞれの端面で下床版側が上床版 側より内側にあるとき、正の値をとるものとする.



(2) 相対たわみの計測結果

全体的な挙動としては、ステップⅠ時, ステップⅡ時は相対 たわみの変化は小さい.しかし, ステップⅣ時に下床版側の 膨張が起こり,負の方向へ相対たわみが増す.その後, 下床版側の発熱が収まり,収縮し始め, ステップⅤが始まる ことで,正の方向へと移行し,最終的には相対たわみ± 0付近に落ち着く挙動を示している(図-5参照).



(3) 相対端面変位の計測結果

相対端面変位の動きは相対たわみと連動する傾向があ り、相対たわみの正負の動きとある程度一致している. また最終的には、相対たわみ同様、相対端面変位±0付 近に落ち着く変形過程を示している(図-6参照).



(4) 温度変化・吃水の計測結果

計測箇所の打設時にコンクリートおよび鋼板の温度上 昇が顕著であり、それ以外の部分の打設時には大きな温 度変化は見られない.しかし、上床版については日射に よる影響のため、温度変化が激しい(図-8参照).



4. 函体変形量の予測解析

実際の施工状態を考慮して設定したパラメータを用い、 3次元 FEM 解析および2次元骨組み解析により、函体の 変形量解析を行った.

4.1 検討条件の整理

(1) 材料特性

鋼板およびコンク	リートの材料特性を以下	に示す.
----------	-------------	------

	表-1	鋼板の材料特性	
弾性係数	ポアソン比	単位体積重量	熱膨張性係数
(N/mm^2)		(kN/m^3)	(/°C)
2. 0×10^{5}	0.3	77.0	10×10^{-6}
表-2 コンクリートの材料特性			
弹性係数	ポアル比	単位体積重量	熱膨張性係数
(N/mm^2)		(kN/m^3)	(/°C)
3.0×10 ⁴ 試験練りの 圧縮強度	0.2	各ステップ毎に 吃水高から逆解析 により算出	10×10-6

(2) 荷重条件および境界条件

 ①自重 : 吃水量から求めた浮力より重量を算出し載荷. ②静水圧: 吃水の増加に伴う端部水圧の増加を考慮.

3次元 FEM モデルでは、実測に応じた側圧を載荷.

2次元モデルでは、荷重をモーメントとして載荷. ③温度荷重: 3次元 FEM モデルでは、実測温度データより 得られた温度差を全ての要素に載荷.

> 2次元モデルでは、コンクリート、鋼板の各々に ついて、段階的に温度差を設定.

④浮力ばね:微妙な不釣り合い量を拘束するために考慮.

(3) 函体の剛性

解析上, 簡易なモデルとするため, 打設後5日目に急に 硬化し、剛性を持つものとした.



(4) 打設順序

解析における打設順序は、第1号函の実際の打設工程 に従うものとした.

4.2 3次元FEM解析

(1) 解析モデル

曲線区間(R=1000m)を考慮した曲函フルモデルをと るものとする. また, 構成部材は板要素, コンクリート 部材は立体要素、バルクヘッドは板要素とした、なお、 鋼とコンクリートはリブ等により一体化されているもの とし、鋼板は母材の板厚とリブの断面剛性を考慮した.



(2) 解析結果

【相対たわみ】

隔壁とも同様の傾向であり、ステップI直後には函体自体 の剛性が低く、吃水が増し側圧が作用することにより正 方向のたわみが発生する. その後, 下床版側の膨張によ り負の方向へ移行し始め、ステップⅢ時に一時正方向へ向か うが、ステップ**IV時に再び負のたわみが大きくなる、しかし、** ステップⅣ時の途中からはコンクリートの発熱が収まり始 め、ステップV時に正方向のたわみが増え、最終的にはその 膨張が収まり収縮し、相対たわみ量±0付近に落ち着く.



【相対端面変位】

相対端面変位は相対たわみと相関関係が強く、ほぼ同 様の動きを示す(図-12参照). 最終相対端面変位量も, -0.456mm~-0.917mm であり、ほとんど変位が発生してい ないという解析結果となった(表-4,5参照).



4.3 2次元骨組み解析

(1) 解析モデル

浮力を弾性ばねで評価した梁モデルを用いた.





(2) 解析結果

【相対たわみ】

相対たわみの履歴は、3次元 FEM 解析の結果とほぼ同 様の傾向を示している (図-11, 14参照).



図-14 相対たわみー履歴図

【相対端面変位】

相対端面変位の履歴は、3次元 FEM 解析結果とほぼ同 様の傾向を示している (図-12, 15 参照).



図-15 相対端面変位一履歴図

変形量の比較

【相対たわみ	・】 (単	位:mm)	
表-3 最終状態の相対たわみ比較表			
	実測値	3次元FEM解析	2次元骨組み解析
港外側側壁	-3.750	-2.636(1.114)	
港外側隔壁	-2.400	-2.655(0.255)	
中壁	2.100	-2.799(4.899)	-1. 447 (3. 547)
港内側隔壁	-0.150	-2.598(2.448)	
港内側側壁	0.950	-2.602(3.552)	

注)()内の数値は、実測値との差分(絶対値)を表す。

【相対端面変位】 (単位:mm)

表-4 最終状態の相対端面変位(空港側)比較表

	実測値	3次元FEM解析	2次元骨組み解析
港外側側壁	-2.068	-0.468(1.600)	
港外側隔壁	-1.942	-0.467(1.475)	
中壁	-0.005	-0.462(0.457)	-0.413(0.408)
港内側隔壁	-1.353	-0.457(0.896)	
港内側側壁	1.672	-0.456(1.216)	

表-5 最終状態の相対端面変位(三重城側)比較表

	実測値	3次元FEM解析	2次元骨組み解析
港外側側壁	-1.832	-0.905(0.927)	
港外側隔壁	-2.658	-0.906(1.752)	
中壁	1.205	-0.911(2.116)	-0.436(1.641)
港内側隔壁	-0.947	-0.916(0.031)	
港内側側壁	-2.128	-0.917(1.211)	

注)()内の数値は、実測値との差分(絶対値)を表す。

6. 最適解析手法の提案と今後の課題

3次元 FEM 解析では、相対たわみ、相対端面変位とも に実現象の履歴をよく再現できている.また定量的にも、 最終状態の値では、相対たわみで最大差 5mm 以内、相対 端面変位で最大差2.5mm以内と精度良く解析できている.

一方, 2次元骨組み解析についても, 履歴の途中にお いて実現象よりやや大きな変形値を示すが、変形履歴の 傾向は実現象とほぼ一致しており、定量的にも最終状態 の値では、相対たわみで差分が 4mm 以下、相対端面変位 で差分が約1.6mmと精度良く解析できている.

以上より、本調査ではより簡易に変形量を求めること ができる2次元骨組み解析を最適手法として提案する.

今後は沈埋函沈設作業におけるゴムガスケットの実際 の変形状況を把握した上で、2次元骨組み解析により沈 埋函の変形予測を行い、3号函以降の止水用ゴムガスケ ット仕様の見直しに反映できるようにする必要がある.

なお、本報告は「平成12年度 那覇港(那覇ふ頭地区) 道路(空港線)技術検討調査委託」(沖縄総合事務局 那 覇港湾空港工事事務所)の成果の一部を取りまとめたも のである.