日本初の道路・鉄道併用沈埋トンネル
——臨港交通施設 大阪南港トンネルの設計・施工——

小泉 哲也*¹・安井 征人*²・渡辺 英夫*³・田中 樹由*⁴

概 要 大阪南港トンネルは、沈埋工法で建設が進められているわが国で初めての道路・鉄道併用の沈埋トンネルで、トンネル内空、線形、避難通路の設定および電食対策等、鉄道と道路の両基準を満足する設計となっている。また、沈埋函の表面鋼板と躯体コンクリートとを合成構造としている。本報告は、沈埋函の構造概要、合成構造に関する実験と設計法、施工法の概要、および温度ひびわれの制御方法と施工状況について報告するものである。

キーワード：沈埋トンネル，函体，合成構造，設計法，施工法，温度ひびわれ制御

1. はじめに

大阪港最大の埋立て地である南港地区は、コンテナ埠頭、ライナー埠頭、フェリー埠頭のほか、人口4万人のポートタウン、国際見本市会場（インテックス大阪）、公園などが建設され、大規模な総合的港湾空間として整備されつつある。現在、南港地区と大阪都心部とを結ぶ交通路は、港大橋経由の道路と住之江公園経由の鉄道があるが、南港地区の開発に伴い、増大が予想される自動車交通および旅客輸送需要に対応するためには、新たな交通路の整備が必要である。このため、南港地区と大阪都心部とを直結する「大阪港・港区～南港連絡線」が臨港道路および鉄道により最初に事業化することとなった（図-1 参照）。

現在工事中の大阪南港トンネルは、大阪港・港区築港～南港地区を結び延長約1 kmの沈埋トンネル部とその両端の換気所および陸上トンネル部より構成されている。その断面構成は上下線各2車線の専用道路と複線の鉄道からなる。基本条件を表-1に示す。

本稿では、大阪南港トンネルの沈埋函の合成構造に関わる設計および施工を中心として、合成構造に関する実験概要、設計法、函体の温度ひびわれ対策およびコンクリート工事の概要について報告する。工事の状況を写真-1および写真-2に示す。

図-1 大阪南港トンネル位置図

2. 沈埋函の構造概要

大阪南港トンネルは、水深 13 m、幅 400 m の大阪港中央航路および泊地を斜めに横断することになる。このため、施工方式は、沈埋トンネル、橋りょうおよびシールドトンネルの 3 工法について比較検討し、経済性等の面でもっとも有利な沈埋トンネルが採用された。縦断面図および平面図を図-2 に、標準横断面図を図-3 に示す。

本トンネルは、高さ 8.5 m、全幅 35.2 m、長さ 103.4 m の合成構造の沈埋函体 10 函と最終継手と称する鋼殻の函体から構成されている。また、函体間の継手には、地震等によりトンネルに発生する断面力を低減するために可撓性継手が採用されている。

沈埋函の製作方式は、従来からの分類方式によれば RC（鉄筋コンクリート）方式と鋼殻方式に分類され

*1 こいずみ・てつや／運輸省第三港湾建設局 神戸港工事
事務所 大阪分室 建設専門官（正会員）

*2 やすい・ゆくと／同上 同上 工事課長

＊3 わたなべ・ひでお／オリエンタルコンサルタンツ 東京
事業本部 総合技術部 次長（正会員）

*4 たなか・きよし／同上 同上 課員

表-1 基本条件

種別	細目	仕様	備考
道路	道路規格	第4種第1級	
	設計速度	60 km/h	
	車線構成	往復分離4車線	幅員 3.25 m × 4 車線
	計画交通量	2万5900台/日	
	大型車混入率	35 %	
鉄道	軌道構成	複線	
	電気方式	直流 750 V	第三軌条方式
	軌間	1.435 m	
	車間編成	6両	
航路	設計速度	70 km/h	
	航路限界	DL+51 m 10	OP+51.50
	主航路水深	DL-13 m 00	
	対象最大船舶	4万5000 D/T	
	最小土かぶり厚	1.5 m	川崎港での現地実験より決定

る。ここで、RC方式とは、ドライドックで鉄筋コンクリートの沈埋函を製作するもので、通常、防水用に沈埋函の外周に厚さ6～8 mmの鋼板が配置されるものである。また、鋼殻方式とは、造船所であらかじめ鉄筋を組み込んだ鋼殻を製作したのち、海上でコンクリート打設を行い、沈埋函を施工するものであり、鋼殻は型わくおよび防水機能の役割を有する。このような分類は、製作方式の相違によるものであり、いずれの方式でも完成時の荷重に対して、RCで抵抗させるような設計が行われる。

すなわち、従来、沈埋函の躯体外周に配置される鋼板は、施工時には型わく、完成時には防水機能を役割としており、外力に対してはRC部分で抵抗させる設計が行われている。本沈埋函の設計では、この函体表面鋼板と躯体コンクリートとをずれ止めにより一体化させた合

写真-1 沈埋函製作完了時の状況

写真-2 沈埋函の製作状況

成構造とすることにより、鉄筋量を減少させ、沈埋函製作時の配筋の作業性、函体の水密性および経済性の向上を図ることにした。

3. 合成構造に関する実験概要

一般に、合成構造は各種の土木構造物に適用されているが、大規模な海洋構造物等では事例が少なく、設計施

The First Construction of Road and Railway Immersed-type Tunnel in Japan —Construction of Large Scale Immersed-type Tunnel in Osaka Bay Area—

By T. Koizumi, Y. Yasui, H. Watanabe and K. Tanaka

Concrete Journal, Vol.31, No.6, pp. 22~32, June 1993.

Synopsis Osaka Nanko Tunnel, Immersed-type tunnel, is now under construction in Osaka Bay Area. From the view point of shortning construction period and saving cost, steel-concrete composite-type structure has been adopted. Many experiments on the composite structure to evaluate its strength were performed. Additionally, regarding immersed tunnel elements, the design and construction method for controlling thermal cracks due to the heat of hydration described.

Keywords : immersed tunnel, element, composite structure, design, construction, thermal crack-control

図-2 縦断面図および平面図

図-3 沈埋函標準断面図

表-2 実験の目的と実験の種類

構造実験の種類	実験目的（設計上の課題）
はり部材載荷実験	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋コンクリートの慣用設計理論の適用性の確認 ずれ止めの破壊に対する安全率を3とすることに対する安全性の確認 破壊時の挙動の把握
押抜きせん断実験	<ul style="list-style-type: none"> スタッドジベル、スターラップのせん断耐力の確認 コンクリートの打設方向による影響の確認 実験供試体（隅角部、函断面）に用いる小径のずれ止めに対する耐力値の照査
隅角部強度確認実験	<ul style="list-style-type: none"> 合成構造とRC構造の接合部となる部位における鋼板、鉄筋の配置方法の確認 破壊形態の確認
函断面載荷実験	<ul style="list-style-type: none"> 沈埋函全体としての破壊形態の確認

工に関する基準も整備されていない。そのため、当沈埋函に合成構造方式を適用するにあたっては、表-2に示す設計上の課題に対して、技術的な信頼性を確認して設

計方法を確立するために、各種の構造実験を実施した。

実験は、沈埋函の構造と合成構造方式を考慮し、①はり部材載荷実験、②押抜きせん断実験、③隅角部の強度確認実験、および④函断面載荷実験の4種類について行った。なお、実験内容については、参考文献2)に詳しく記述されているので、ここでは実験結果の概要のみを示す。

(1) はり部材載荷実験

沈埋函の下床版を部分的に取り出したはり部材供試体（実物大、縮小模型）により、せん断および曲げに関する載荷実験を行った。

本実験の結果より以下のことが確認された。

- 1) 鋼材降伏時、コンクリート圧壊時の載荷荷重および設計荷重（鋼材が許容応力度になる荷重）までのひずみ分布は、RCの慣用設計理論による計算値とほぼ一致する。
- 2) ずれ止めの破壊に対する安全率を3（供試体No.S-1）としても、鋼板とコンクリートとの間に

図-4 はり部材荷重実験供試体

表-3 はり部材荷重実験供試体の種類

試験の種類	対象断面	供試体 No.	ずれ止めの安全率	使用鋼板
せん断試験	A 部 (鋼板位置 引張側)	S-1	3	SS41
		S-2	6	SS41
		S-3	1.5	SS41
		RC-1	—	—
曲げ試験	B 部 (鋼板位置 圧縮側)	M-1	3	SS41
		M-2	6	SS41
	A 部 (鋼板位置 引張側)	M-3	3	SS41
		M-4	6	SS41
		RC-2	—	—

注)・S-3 供試体は、スタッドジベルをつけない(スターラップのみ)の供試体である。
・RC-1およびRC-2はRC構造(鋼板のない)のはり供試体である。

は安全性を損なうようなずれは生じない。

すなわち、合成構造はRC構造と同等以上の耐荷性能を有し、RCの慣用設計理論に基づいて設計することができる。

(2) 押抜きせん断実験

ずれ止め1本当たりのせん断耐力の実験値と、『道路橋示方書Ⅱ 鋼橋編』の許容せん断力算定式によるせん断耐力値とを比較した。

本実験の結果より以下のことが確認された。

- 1) ずれ止めの破壊に対する安全率を3としても、荷重-せん断変位図から想定される降伏点に対しては、十分安全性が確保されている(図-7参照)。

すなわち、道路橋示方書Ⅱに規定されるスタッド

ジベルの設計では、活荷重による疲労の影響を考慮して破壊に対する安全率を6としているが、沈埋函では、静的荷重が支配的なため安全率を3とし、スタッドジベルおよびスターラップの許容せん断力 Q_a を式(2)とした。

$$Q_u = 180 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\sigma_c} \quad (1)$$

$$Q_a = Q_u / 3 \quad (2)$$

ここに、 Q_u ：終局せん断耐力(kgf/本)

Q_a ：許容せん断力(kgf/本)

d ：ずれ止めの直径(cm)

σ_c ：コンクリートの圧縮強度(kgf/cm²)

- 2) スターラップのせん断耐力は、それと同径のスタッドジベルと同等である。

- (3) 隅角部強度確認実験および函断面荷重実験本実験の結果より以下のことが確認された。

- 1) 側壁側表面鋼板の定着位置を上床版側に改善した供試体では、隅切り部からの有害なひびわれは発生せず、隅角部領域内での破壊は生じなかった(写真-3参照)。
- 2) 隅角部のひずみは、通常のRC構造物の隅角部における内部ひずみの分布と同傾向であり、補強鉄筋は『道路橋示方書Ⅲ コンクリート橋編』に準じて設計することができる。

すなわち、実構造で側壁と上床版からなる隅角部は、合成構造とRC構造の取合いとなる混合部分であるため、側壁側表面鋼板は破壊形態を考慮して、上床版側まで伸ばしスタッドジベル等で定着するとともに、隅角部補強鉄筋は圧縮側まで伸ばすこととした。

図-5 断面ひずみ分布図

図-6 荷重-たわみ曲線図

図-7 スタッドジベルの荷重-せん断変位 (供試体 No.S-1)

写真-3 隅角部（断面供試体）ひびわれ状況

写真-4 側壁および下床版の配筋

4. 合成構造沈埋函の設計概要

3章の実験結果を踏まえて、『合成構造沈埋函設計指針(案)』³⁾を作成し、設計はこれに基づいて行った。ここでは、指針(案)に基づいて合成構造の設計方法の概要を示す。

4.1 沈埋函の基本構造

沈埋函の基本構造は、函体外周の表面鋼板に、機械式ずれ止め(原則としてスタッドジベル)を配置することによって、コンクリートと一体化して応力を分担させる構造である(写真-4)。

したがって、各部材の内周側に鉄筋を配置し、コンクリート、鉄筋および鋼板が協同して応力を分担する。ただし、上床版の防水鋼板は施工上確実にコンクリートとの一体性を確保することが困難と考えられたため、応力部材として考慮しないものとした。

また、表面鋼板は防水機能をもたせ、完全な水密構造となっている。

横断面方向の主鉄筋は、曲げ引張が生じる部材断面のうち、表面鋼板の存在しない側の引張領域に配置した。部材断面の圧縮領域のうち、表面鋼板の存在しない側には圧縮鉄筋を配置した。ただし、表面鋼板を応力部材として考慮しない上床版では、部材の両面に引張および圧縮鉄筋を配置した。

せん断補強は、原則としてスターラップによるものとし、表面鋼板の存在する部分のスターラップは、表面鋼板に直接溶接して結合した。また、このスターラップおよび一部の補剛材は、ずれ止めの機能を兼ねさせるものとした。

函体軸方向の鉄筋量は、函体横断方向に対する必要な配力鉄筋としての機能、地震および地盤沈下の影響による函軸方向断面力に対する抵抗力等の確保面からの必要鉄筋量を配置した。なお、配置にあたっては、表面鋼板(上床版の防水鋼板は除く)と軸方向鉄筋は、合成構造

として協同するものとした。

4.2 設計の基本

載荷実験結果より、設計荷重の作用範囲では、部材は弾性的挙動を示すことが確認されたため、設計は許容応力度設計法によることにした。許容応力度は、載荷実験結果を基に、終局強度に対する安全度を考慮し、『道路橋示方書Ⅳ 下部構造編』に準拠して設定した。なお、表面鋼板(SM 490 Y, $t=10\sim 12$ mm)の許容応力度の設定にあたっては、曲げひびわれ幅の抑制に対する配慮が不要なため、このための応力度制限は行っていない。

曲げモーメントおよび軸方向力に対する断面算定は、RCの慣用設計理論によった。なお、表面鋼板は鉄筋と同等に扱った。沈埋函内面側はRC構造であり、通行車両による排気ガスなどにさらされるため、曲げひびわれ幅に対する照査を行った。

載荷実験結果より、スターラップの作用応力は、コンクリートの負担する分を差し引いたせん断力に基づく斜め引張鉄筋応力算定式により計算しても問題ないことが確認された。このため、せん断力に対する設計は、『道路橋示方書Ⅳ 下部構造編』によった。

表面鋼板には、耐用年数を100年とした流電陽極方式の電気防食および腐食しろ(下床版2 mm, 側壁1 mm考慮)による防食を施した。また、応力度照査にあたっては函軸方向断面力に基づく応力度をも考慮し、二軸応力度を照査した。

4.3 ずれ止めの設計

表面鋼板に設置するずれ止めは、施工性および経済性等の点からスタッドジベルを使用した。表面鋼板に溶接したスターラップもずれ止めとして考慮した。

スタッドジベルは水平せん断力に対して設計し、許容せん断力は式(2)により算出した。

ずれ止めの最大間隔は、はり部材載荷実験より鋼板の座屈が生じないことが確認されたため、『道路橋示方書Ⅱ 鋼橋編』に準じて60 cmとした。

スタッドジベルの軸径は、19 mm, 22 mmとし、全高は150 mmを標準とした。

4.4 隅角部の設計

側壁部表面鋼板は、上床版側まで延伸させ、スタッドジベルで確実に定着した。

隅角部の内部応力に対しては、RC構造のラーメン部材節点部の設計法に準じて設計を行った。

5. 工事概要

5.1 函体の施工

1当たりの工事主要数量を表-4に示す。沈埋函は全部で10函体あるが、函体施工を行うドック等の関係から4期(1~3号函, 4~6号函, 7・8号函, 9・10号

函)に分けて施工を行う。なお、函体の施工にあたって、ドックは鋼殻製作用と函体施工用の2箇所を使用した。

合成構造沈埋函の製作および施工のフローを図-8に示す。基本的な手順は、①工場内での鋼殻部材の加工、パネル製作およびブロック製作、②鋼殻製作用ドック内での鋼殻本体(上床版とバルクヘッドを除く)の大組立て、下床版部および側壁部の配筋工事、③ドック内注水、鋼殻函体浮上・曳航により、函体施工用ドックへ移動、④このドック内での上床版の配筋、コンクリート打設、上床版鋼殻工、止水バルクヘッド工、保護コンクリート打設、沈設準備・艀装工、ドック内注水・函体浮揚・仮係留、出渠、⑤曳航・沈設である。

コンクリートの打設は、函体を軸方向に6ブロックに分割し(1ブロックの標準長さは約17.3m)、各ブロックのコンクリートは下床版、側壁および上床版に分けて、ロングブームコンクリートポンプ車を使用して行った。とくに、側壁は鋼殻に不均衡な応力が作用しないように打上がり速度(2m/h)が同一となるようにした。なお、型わくは工期短縮化のため、移動式型わく(型わくトラベラー)を用いた。

コンクリートの養生は、打設後養生マットで覆い、散水養生を行った。また、打継ぎ面は水洗によりレイトンス除去を行った。

表-4 施工数量一覧表

材 料	1 BL 当たり (17.25 m)	1 函体当たり (3 号函)
コンクリート(m ³)	1 812	1 万 860
鉄 筋 (t)	321	1 926
鋼 殻	下床版 + 側壁(t)	120
	ず れ 止 め(本)	1 万 7 703
	上 床 版(t)	47
	計 (t)	197
端 部 鋼	本 体(t)	—
	鉛直せん断キー(t)	—
	計 (t)	—
バルクヘッド(t)	—	124

表-5 既往の沈埋函における温度ひびわれ対策の概要

名 称	竣 工 年 度	側 壁 厚 さ (cm)	設計基準強度 (kgf/cm ²)	指 材 定 齢 (日)	使用セメント の 種 類	クーリングおよ び養生方法	函 体 軸 方 向 プレストレス
衣 浦	1970	70	240	28	普 通		
東 京 港	1970	100	400	91	中 庸 熱	湿潤養生	
東京港第2	1973	110	400	91	中 庸 熱		
川崎港海底	1973	100	300	28	中 庸 熱		
多摩川・川崎 航路(建設中)		125	350	91	高 炉 B 種 (低熱型)	LN ₂ クーリング	有 (ひびわれ制御)

函体製作ドック内での下床版、壁および上床版の1ブロック当たりの標準施工サイクルは、それぞれ14日、23日、25日である。

5.2 温度ひびわれの制御

一般に、沈埋函では側壁に温度ひびわれが発生しやすい。沈埋函の側壁は1m以上の厚さがり、セメントの水和熱による温度上昇量が高く、函軸方向の膨張ひずみが温度降下時に下床版によって拘束されて引張応力が発生するためである。本沈埋函の側壁厚さは1.2mであり、コンクリートの設計基準強度は300 kgf/cm²と比較的セメント量が多く、かつ鋼殻とRCとの合成構造により補剛材の影響等も加わるため、温度ひびわれの発生の可能性は高い。

本沈埋函の外周は鋼板で覆われるため、温度ひびわれの発生が水密性に及ぼすことはないが、函体の内側はRCであるため十分な温度ひびわれ制御対策を施す必要がある。このため、温度応力解析と各種の実験を通じて、材料、配合および施工法について検討を行った。

(1) 基本方針

既往の沈埋函における温度ひびわれ対策の概要を表-5に示す。本沈埋函では、これらの対策の傾向を参考とするとともに、温度ひびわれ対策の基本原則(①温度上昇量を小さく抑えること、②発生する引張応力を低減すること)を踏まえて、以下に示す基本方針を決定した。

材料面：適切な低発熱性セメントの選定・使用

配合面：セメント量・単位水量の低減化

施工面：適切な養生の実施、初期施工時の挙動の把握と次期施工時への反映

なお、温度ひびわれの対策検討において、温度ひびわれ指数の目標値を、鋼殻の補剛材による断面減少を考慮した場合で1.2とした。

上記の基本方針を踏まえて、図-9に示すフローで検討を行った。

(2) 室内試験および施工実験

ステップ1(予備解析検討)で設定した4種類の低発熱高炉B種相当のセメントについて、配合を決定し、

【2号ドック】

鋼殻製作 (①～⑤)

端部鋼殻, 下床版, 側壁鋼殻組立て
補助架台, 鉄筋受け架台取付け
スタッドジベル, スターラップ溶接
下床版・側壁鉄筋組立て

ドック注水・曳航

【3号ドック】

ドック入渠・据付け
準備工

下床版工

施工目地部および残りの鉄筋組立て
ハンチ, 妻型わく組立て
コンクリート打設

壁工 (⑥)

鉄筋足場組立て
隔壁の鉄筋組立て
施工目地部の鉄筋組立て
妻型わく組立て
鉄筋足場解体
壁型わくトラベラーセット
支柱埋込み
コンクリート打設

上床版 (⑦, ⑧)

鉄筋組立トラベラーセット
鉄筋組立て
鋼殻側壁上段溶接
吊りビームに鉄筋吊替え
上床版型わくトラベラーセット
コンクリート打設

上床版鋼殻, 上部モルタル充填工
バルクヘッド工
蟻装工 (1)
ドック注水, 保護コンクリート工
蟻装工 (2)
出 渠

【海上】

仮係留, 曳航準備, 曳航, 沈設

図-8 沈埋函の製作および施工フロー

【ステップ1：予備解析】

【ステップ3：施工実験データに基づく側壁の詳細解析】

【ステップ2：配合および施工実験】

図-9 温度ひびわれの制御検討フロー

断熱温度上昇および力学的特性を明確にするため、①配合試験、②断熱温度上昇試験（空気循環式試験機を使用）、③力学試験を行った。

次に、断熱温度上昇特性の精度を高めるため、④1 m³の立方体のマスブロックを用いた疑似断熱温度上昇試験を行い温度上昇を測定した。この測定結果から三次元FEM温度解析プログラムを使用した逆解析により発熱特性を求めた。この試験結果より②断熱温度上昇試験とほぼ同程度の発熱特性が得られた。

さらに、最終的な配合と低発熱型セメントを使用したコンクリートの打設による温度やひずみの実挙動、および充填性等の確認を目的として、⑤実物大の合成構造の側壁を用いた施工実験を実施した。打設時からの最高温度上昇量は約10℃であり、目視できる温度ひびわれの発生はなかった。

打設後10～15日めに鋼殻の鉛直補剛材付近で鉄筋の引張応力が増進しており、この位置でひびわれが発生しやすい傾向にあることが確認された。また、試験終了後鋼殻周辺のコンクリートの充填性を確認したが、その状態は良好であった。

（3）詳細解析

ステップ2の試験結果を基に、側壁の温度ひびわれ制御対策を決定するために、温度応力解析の詳細解析を行った。表-6に、解析結果のまとめを示す。

表-6 解析結果のまとめ

鉛 直 補 剛 材 の 扱 い					誘発目地的な作用をしないと仮定した場合		誘発目地的な作用をすると仮定した場合			
打		設			時 期		春	夏	春	夏
温	度	ひ	び	わ	れ	指	1.3	1.4	1.1	1.2
ひ	び	わ	れ	わ	生	確	15 %	15 %	30 %	20 %
ひびわれ幅	内面鉄筋のみの鉄筋量を抵抗材として考慮した場合						0.26 mm	0.41 mm	0.18 mm 0.37* ¹ 0.14* ²	0.25 mm 0.45
	内面鉄筋＋水平補剛材の鉄筋量を抵抗材として考慮した場合						0.15 mm	0.30 mm	0.15 mm 0.25* ¹ 0.10* ²	0.22 mm 0.30
	内面鉄筋＋鋼殻の鉄筋量を抵抗材として考慮した場合						－	0.11 mm	－	0.11 mm
									0.16* ¹	0.19
									0.02* ²	

*1：ACIの方法により求めたひびわれ幅。

*2：実物大モデル試験の条件を小野式から求めたひびわれ幅。

解析条件：①打設温度は外気温+3℃とし、外気温は大阪地区における月別平均気温を参考として、冬、春・秋、夏に対して、10、20、30℃とした。②ブロック長は17.2 m、③コンクリートの熱特性はJCIのマスコングリートのひびわれ制御指針における普通骨材コンクリートの一般的な値を設定した。

解析結果：側壁の部材幅1200 mmに対して、側壁内の鉛直補剛材の高さは210 mmであり、この部分のコンクリートは引張に対して抵抗する場合としない場合について温度ひびわれ指数を算出した。また、小野の提案式により、鉛直補剛材間隔(1.725 m)をひびわれ間隔と仮定してひびわれ幅を算定した（表-6参照）。

（4）施工の基本方針

以上の結果、JIS規格を満足し中性化面の問題もなく低発熱性に富むセメントを使用すれば、温度ひびわれの発生しやすい夏期においても、所定のひびわれ指数を満たすとともに、ひびわれが発生した場合のひびわれ幅も0.2 mm程度と予測された。

また、施工上の留意点としてコンクリートの打込み温度の管理、適切な養生（散水、鋼殻への日射の遮断）および温度観測等による挙動把握を行うことにした。なお、予測解析に用いた解析条件を表-7に示す。

表-7 予測解析に用いた解析条件

コンクリートの熱特性* ¹				セメントの断熱特性* ²			
熱伝導率 (kcal/cm・h・℃)	比熱 (kcal/kg・℃)	熱膨張係数 (1/℃)	表面熱伝達率 (kcal/cm ² ・h・℃)	コンクリート打設（春）		コンクリート打設（夏）	
				終局値 K (℃)	定数 α	終局値 K (℃)	定数 α
0.020	0.22	9 × 10 ⁻⁶	0.0010	25.2	0.62	26.3	0.74

*1：『マスコングリートのひびわれ制御指針』に準拠（ただし、熱膨張係数は施工実験結果による）。

*2：施工実験結果に基づく値（春：外気温=20℃，夏：外気温=30℃と設定）。 $T=K[1-e^{-\alpha(t-\beta)}]$

表-8 コンクリートの配合表

	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			水	セメント	石粉	細骨材	粗骨材
側壁部	55.0	43.0	156	284	30	758	1 061
							4.544

注) セメント：低発熱型高炉セメント B 種，混和材：石灰石粉（プレミックス），混和剤：高性能 AE 減水剤

図-10 2号函第6ブロック側壁のひびわれ状況

5.3 施工結果

(1) 側壁コンクリートの施工

1期施工（1～3号函）の側壁コンクリート工事は，6ブロックに分け3函同時に，平成4年5月中旬（第6ブロック）～7月下旬（第1ブロック）に行った。2，3号函の1，3，6ブロックの側壁には熱電対，ひずみ計，鉄筋計等を埋設して温度およびひずみ履歴を測定した。

(2) 施工結果

施工の結果，軽微な温度ひびわれが発生した。2号函第6ブロック側壁のひびわれ発生状況を図-10に示す。ひびわれ間隔は鉛直補剛材の間隔に近く，ひびわれは側壁下端から鉛直方向に発生している。

施工時のコンクリート温度の上昇量（最高温度－打設温度）は，予測解析結果（13℃）に比較して5～6℃大きくなっている。原因究明の断熱温度上昇試験を実施した結果，断熱温度上昇量は試験時の値より5℃程度大きく，この結果を用いた温度ひびわれ指数は当初の予測値を下回った。この原因は，骨材，石粉，単位セメント量および試験方法の差異などが集積したものと考えられる。

発生したひびわれは，0.2 mm以上の幅について，エポキシ樹脂注入等により補修する予定である。

今後の2期施工においては，今回の施工結果を踏まえて，適切な対策を講じていく予定である。

6. おわりに

大阪南港トンネルの沈埋函建設工事は，10函体を4

期に分けて，平成3年度に着工し，平成6年度に完了の予定で行われている。平成4年末には1期工事（1～3号函の製作）が終了し，平成5年は2期工事（4～6号函の製作）の完成予定と3期工事（7・8号函の製作）の着工を予定している。工事は今後より盛況になるところであり，より一層のご指導，ご協力をお願いする次第である。

なお，本沈埋函の設計・施工にあたり，大阪南港トンネル技術検討委員会・本委員会（委員長：長尾義三 日本大学教授），構造専門委員会および沈埋函コンクリート施工検討委員会（委員長：園田恵一郎 大阪市立大学教授）ならびに関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 高橋浩二：わが国初の道路・鉄道併用沈埋トンネル，大阪港海底トンネルの計画と設計，トンネルと地下，Vol.21, No.6, 1990.6
- 2) Kataoka, S., Soejima, T. and Koizumi, T.: Osaka Port Under Sea Tunnel Designed as a Composite Structure, SCCS
- 3) 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所：合成構造沈埋函設計指針（案），1990.9
- 4) 三橋郁雄ほか：大阪港海底トンネルの開発（1）～（3），日本鉄道施設協会誌，1992.9～1993.1