

報告 各種特殊コンクリートを用いた上部下部一体型ジャケット栈橋の築造

北澤 真^{*1}・廣岡 光太郎^{*2}・羽淵 貴士^{*3}・藤井 信成^{*4}

要旨：上部工と下部工を一体にしたジャケット構造形式の栈橋の築造を実現するため、各種特殊コンクリートを採用して施工を行った。ジャケット栈橋はその栈橋予定地海底面に平坦な岩盤が露出していたため直接基礎とされ、そのため据付精度や部材性能が高く要求されたがこれらの特殊コンクリートを用い、所要の性能を満たす良好な施工ができた。

キーワード: ジャケット栈橋, 特殊コンクリート, CFT, SRC梁

1. はじめに

近年、現場での施工性・安全性の向上を目的としてプレキャスト部材により栈橋を構築するジャケット工法の適用例が増えている。今回常陸那珂火力発電所揚炭栈橋に採用されたジャケット工法では、工場内で製作したジャケットの大ブロックを大型起重機船で据え付ける事により大幅な工期短縮及び工事費の削減に繋がっている。またその構造上随所に特殊コンクリートを使用して施工を行った。

本報告は、海底面の基礎コンクリートに使用した水中不分離性コンクリートについて施工状況や採取した現地コア供試体の圧縮強度を、SRC構造で採用した中流動コンクリートについて事前に行ったモデル実験結果を、またCFT構造での高流動コンクリート打設時の現地計測結果をまとめたものである。なお中流動コンクリートは、普通コンクリートに対して若干流動性と分離抵抗性を付与しバイブレーターを補助的に使用して充填・締固めを行うスランプフロー40cm程度のコンクリート^{1), 2)}である。

2. ジャケット栈橋の概要

ジャケット栈橋は、1基あたり長さ約32m、幅25~33mのジャケットが12基、総延長385mであり、その構造は主に長スパンのSRC梁と

充填型鋼管コンクリート構造(CFT)からなっている。その施工手順は以下の通りである。
 (1) ジャケットの脚部が据わる箇所の原地盤を掘削し、堀跡に水中部基礎を設ける。
 (2) 工場内でSRC梁を製作し、鋼管柱と一緒に地組する。
 (3) 鋼管内及びSRC梁と鋼管柱の接合部にコンクリートを打設する。
 (5) 鋼台船にジャケットを載せ施工場所まで曳航し起重機船にて据え付ける。
 (6) 据え付けたジャケットの脚部基礎上に二次基礎コンクリートを、また栈橋上ではPC板を桁上に架設し、その上に床版コンクリートを

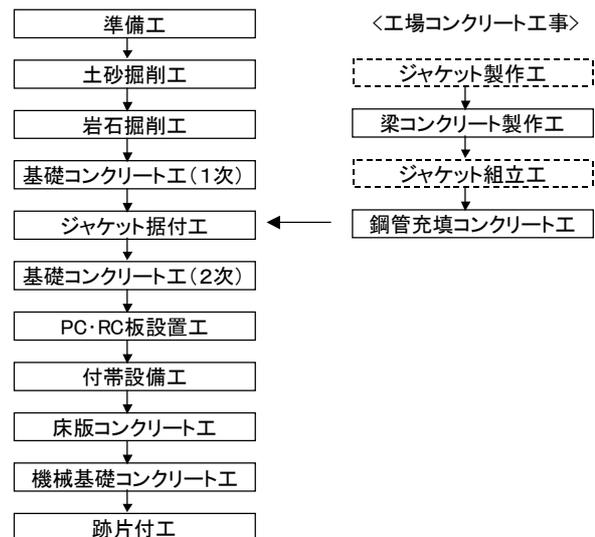


図-1 施工フロー

*1 東亜建設工業(株) 技術研究所 材料構造研究室(正会員)
 *2 電源開発株式会社 常陸那珂火力建設所
 *3 東亜建設工業(株) 技術研究所 材料構造研究室 主任研究員(正会員)
 *4 東亜建設工業(株) 東京支店土木部

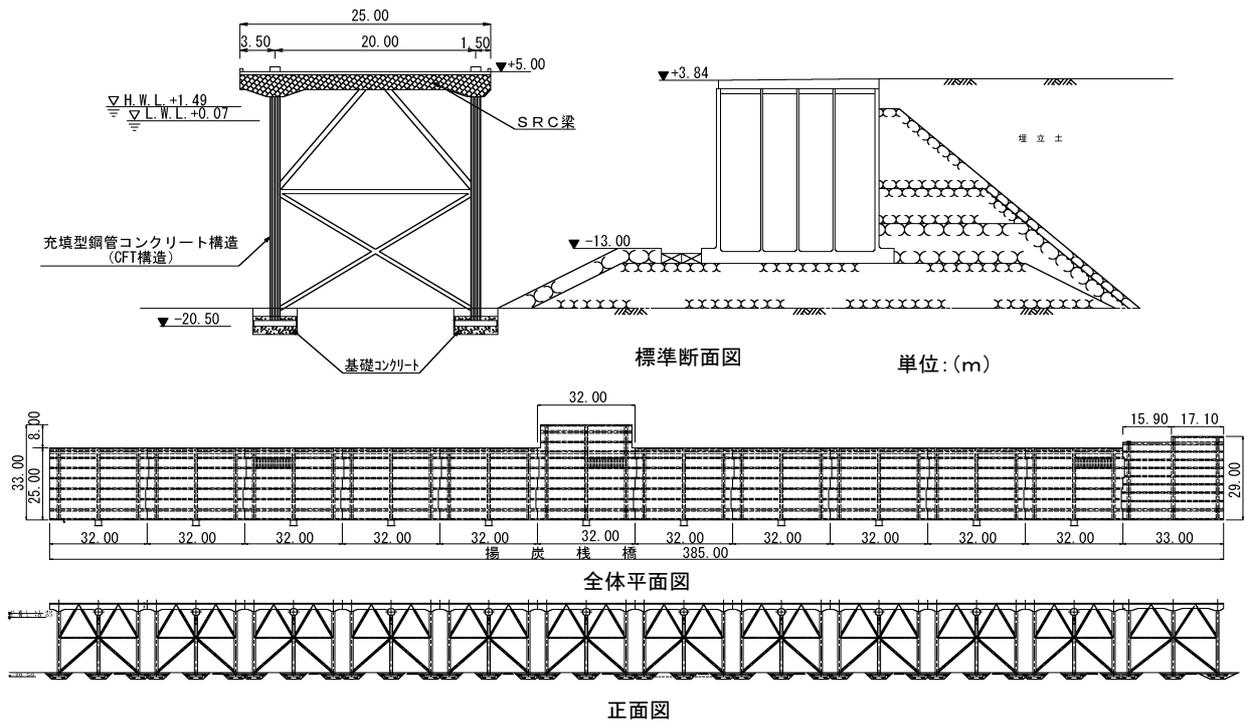


図 - 2 棧橋構造全体図

打設することで合成床版として一体化させる。
 図-1 に施工フローを、図-2 に棧橋構造全体図を示す。

3. 水中部基礎コンクリート

3.1 構造

海底面の基礎コンクリートは約 20m の大水深下にある原地盤の基礎岩盤（第三紀軟岩層）を 2.3m 水中バックホウにて掘削後、掘跡に 800mm 厚の基礎一次コンクリートを一層打設し、その上にジャケットレグを据付ける構造になっており、基礎一次コンクリートには水中不分離性コンクリートを使用した。水中不分離性コンクリートは良好なセルフレベリング性も有しているが、ジャケットを精度よく据え付けるため、コンクリート天端の高さ管理には周囲の H 鋼から高さ調整枠を降ろしてそれを目安にして高さ管理を行った。図-3 に使用した高さ調整枠を示す。

3.2 コンクリートの仕様と配合

表-1 にコンクリートの仕様を、表-2 にコンクリートの配合を、表-3 にコンクリートの使用材料を示す。

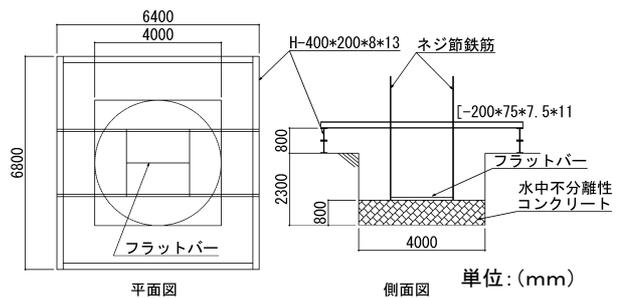


図-3 高さ調整枠 詳細図

表-1 水中不分離性コンクリートの仕様

σ 28 (N/mm ²)	スランプフロー (mm)	空気量 (%)	単位水量 (kg/m ³)	最大 W/C (%)	水中気中強度比
30	550±30	5 以下	235 以下	50	0.8 以上

表-2 水中不分離性コンクリートの配合

W/C %	s/a %	単位量 (kg/m ³)				水中不分離剤	流動化剤
		W	C	S	G		
47.2	40.0	233	494	588	913	2.5	2.8

表-3 水中不分離性コンクリートの使用材料

使用材料	種類	物性
セメント	高炉セメント B種	密度 3.04g/cm ³ 比表面積 3,980cm ² /g
細骨材	久慈川産川砂	表乾密度 2.58 g/cm ³ ,粗粒率 2.77,吸水率 1.45%
粗骨材	西茨城郡七会村塩子産砕石	表乾密度 2.67 g/cm ³ ,粗粒率 6.62,実積率 59.2%,吸水率 0.41
混和剤	・水中不分離性混和剤 ・流動化剤	セルロース・MC系 メラミンスルホン酸系

3.3 筒先の状況

コンクリートは主にプラント船より圧送し、ダイバーが水深 20m の筒先について打上がり高さの管理を行った。筒先は波浪によって多少上下動したものの、分離などの問題なく打設できた。また高さ調整枠周辺に設けた H 型鋼による囲いが、原地盤上にある浮泥の流入を防ぐ役目も果たしており、後に据え付けられるジャケットに対しても十分な天端精度が確保できた。

3.4 現地コアの採取

基礎コンクリートの一部は 1 2 月の厳冬期に打設が行われた。一般に水中不分離性コンクリートの強度発現は増粘剤の影響により普通コンクリートに比べ遅く、また養生温度が低い場合は初期強度の発現が遅れるといわれている。今回は外気温 6~8、水温 12~15 で打設されており、また 20m の大水深下ということもあって、現地コア（約 67mm, L=540mm）を二本採取し、強度の確認を行った。表-4 に試験結果を示す。

圧縮強度は二本とも 40N/mm² 近くと設計基準強度の 30N/mm² を上回っており、実構造物での十分な圧縮強度が確認された。

表-4 現地コア圧縮強度試験結果

	供試体 A		供試体 B	
コア採取材齢	材齢 27 日			
試験材齢	材齢 31 日			
圧縮強度(N/mm ²)	①	40.39	①	35.59
	②	40.88	②	41.18
	③	38.47	③	41.58
平均(N/mm ²)	39.91		39.45	

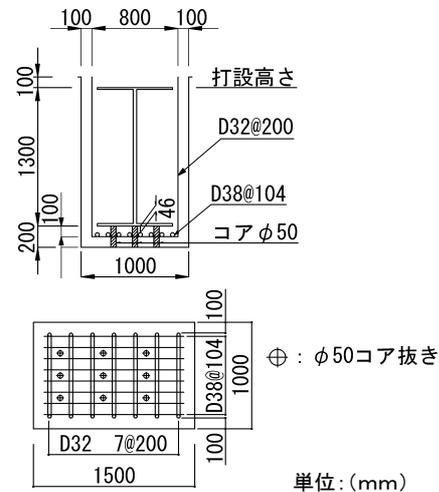
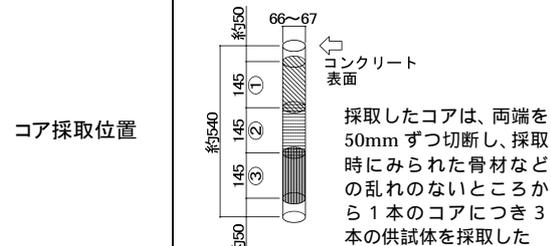


図-4 充填モデルとコア抜き位置図

4. SRC 梁中流動コンクリート

4.1 構造

本ジャケット栈橋では上部工が SRC 造となっており、一部の大梁の心材が通常の SRC 造と比較して大きいことが特徴としてあげられる。その SRC 梁の心材には 1,300×700 と幅広い H 型鋼材もあり、D-38 や D-32 のような太径の鉄筋が密に配置される構造となっている。

4.2 充填モデル実験

4.1 に示すように、一部の大梁のような桁幅の広いものについては、通常の普通コンクリートを適用した場合、空気溜まりやブリーディング等によるフランジ下面の欠陥、鉄筋周囲の未充填箇所の発生等が懸念された。また施工中に打設箇所の目視確認ができないことも懸念の一つ

であった。そのため、普通コンクリート（スランプ 12cm）と、中流動コンクリートの 2 配合について、実際と同じ断面寸法の実大モデルに打設し、充填性・施工性の確認を行った。図-4 に実験に使用したモデルと充填確認用に採取したコアの位置図を示す。

（1）コンクリートの配合

中流動コンクリートは目標スランプフローを 42.5±7.5cm、圧縮強度 30N/mm² 以上とした。表-5 に実験に使用したコンクリートの配合を、表-6 にコンクリートの使用材料を示す。

表-5 コンクリートの配合

	W/C %	S/a %	単位量 (kg/m ³)				混和剤 C×%
			W	C	S	G	
普通	46	42.7	162	352	751	1024	0.2*
中流動	40	52.5	160	400	905	832	0.95**

* AE 減水剤, ** 高性能 AE 減水剤

(2) 打設状況

コンクリートは供試体端部のフランジの片側より打ち込み、高周波バイブレーターを用いて締め固めた。フランジ下面から極力空気を追いつため、締め固めはコンクリート打ち込み側からのみ行った。普通コンクリートでは、鉄筋周囲やフランジ周辺にコンクリートが確実に行き渡るように十分に締め固めることとしたが、中流動では、それ自体がある程度流動性を有しているため、比較的軽微な締め固め（1カ所あたり5秒程度）とした。その後ウェブの中央付近までコンクリートを打ち込んだ後、打設速度を若干緩めて上フランジ下部に充填するように打設した。

(3) 充填状況

供試体の脱型後上下フランジの下面や鉄筋周囲への充填状況を確認した。その結果下フランジの下面では写真-1 に示すように普通コンクリートでは残留気泡が見られるものの、中流動では全く見られないといった差が見られた。これは普通コンクリートでは確実な充填を得るために、バイブレーターを長い時間かけることにより気泡が集まって残留気泡となったが、中流動コンクリートでは流動性が高いため加振時間が短くて済み、その結果空気溜まりができなかったものと考えられ、同じようなことが上フランジ側でも確認された。またこの時中流動コンクリートのブリーディング量は $0.03\text{cm}^3/\text{cm}^2$ と十分小さい値を示した。一方下側鉄筋周辺は中流動および普通コンクリート共に完全に充填されていることが確認された。写真-2 に鉄筋周辺の充填状況を示す。下フランジ下部の主筋周辺は、あき間隔が小さく、直接バイブレーターでの締め固めができないため、充填される過程で粗骨材が分離することが懸念された。そこで、コンクリート供試体より図-4 に示す位置で採取したコアを2分割に切断し、その断面面積に対する粗骨材が占める面積の割合で、分離の程度を評価した。粗骨材の分布状況の一例を写真-3 に示す。結果としてコア断面面積に対する粗

表-6 コンクリートの使用材料

使用材料	種類	物性
セメント	高炉セメント B種	密度 $3.04\text{g}/\text{cm}^3$ 比表面積 $3,970\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	榑田川流域産	表乾比重 2.60、粗粒率 2.80 吸水率 1.04%
粗骨材	榑田川流域産	表乾比重 2.64、粗粒率 7.03 実績率 61.0%、吸水率 0.62%
混和剤	・高性能 AE 減水剤 ・AE 減水剤	ホリカルボン酸エーテル系 リゲンスルホン酸化合物



写真-1 下フランジ下面の残留気泡の状況



写真-2 鉄筋周辺の充填状況



写真-3 コア断面の粗骨材分布状況

骨材が占める面積の割合は、中流動コンクリートは 29.0%、普通コンクリートでは 27.7% となり、両コンクリートで大きな差はなく、粗骨材の顕著な分離は生じていないことが確認された。

4.3 実施工

大梁の施工は、実験結果を踏まえて中流動コンクリートを使用し打設を行った。型枠脱型時に目視確認及び打音検査などを行ったところ、上下フランジの下面などにコンクリートが確実に充填されていることが確認できた。

5. CFT充填型鋼管コンクリート

5.1 構造

ジャケットそのCFT鋼管柱は 1000、高さ 25.2m、肉厚 8～14mm であり、柱の天端部分に内側ダイヤフラムが設けられ、この中にコンクリートを充填する構造となっている。そのため使用するコンクリートは流動性及び分離抵抗性が高い高流動コンクリートとし、充填は柱の下部からの圧入工法とした。鋼管内は天端以外にはダイヤフラムは設けられておらず、また柱の下部には下端から 1.466m の位置にシャッターバルブ及び圧入ガイド鋼管がコンクリートの圧入口として設けられている。

5.2 コンクリートの仕様と配合

表-7 にコンクリートの仕様を、表-8 にコンクリートの配合を示す。使用材料については表-6 と同じである。

5.3 現場計測

鋼管充填コンクリートはこれまで建築において多数施工されてきているが、土木においては報告例が少ない。また構造的にも建築工事で一般的に施工されているものと比較して、鋼管径が大きく肉厚は小さくなっている。そこで鋼管充填コンクリートの最初の施工においてその施工性、充填性、品質変化を確認し、また圧入による鋼管への影響を確認することによって鋼管充填コンクリート構造が所要の品質を有することを確認・評価するため、現場計測を行った。

(1) 打設状況

CFTの場合、圧入途中でプラントからの供給がストップした場合のコンクリートの再圧入が困難なため、打設する鋼管 1 本分(約 20.0m³ アジテータ5台)のコンクリートを確保し、順次スランプフロー及び空気量試験を行った後鋼管内に圧入した。当初鋼管の壁にモルタル分をとられ、若干流動性が落ちる場面が一部で見られたものの、天端まで問題なく圧入できた。写真-4 にコンクリートの打ち上がり状況を示す。

表-7 高流動コンクリートの仕様

呼び強度 (N/mm ²)	スランプフロー (mm)	単位水量 (kg/m ³)	最大 W/C (%)	フリーディング量 (cm ³ /cm ²)	沈降量 (mm)
40	550±50	175 以下	50	0.1 以下	2.0 以下

表-8 高流動コンクリートの配合

W/C %	s/a %	単位量 (kg/m ³)				高性能AE減水剤 C×%
		W	C	S	G	
35.9	50.6	163	453	853	832	1.26



写真-4 CFTコンクリート打ち上がり状況

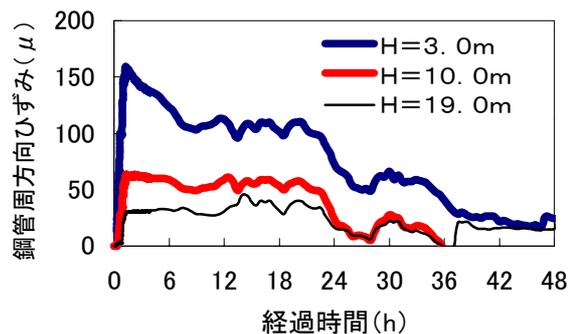


図-5 鋼管周方向ひずみの経時変化

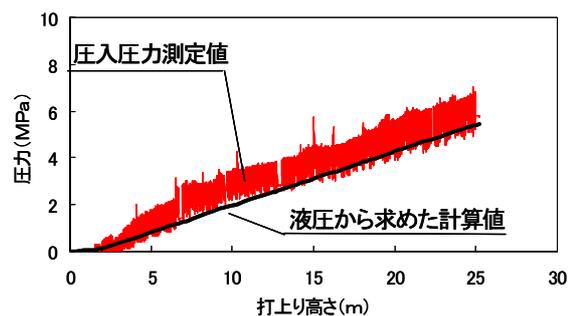


図-6 コンクリート圧入圧力計測結果

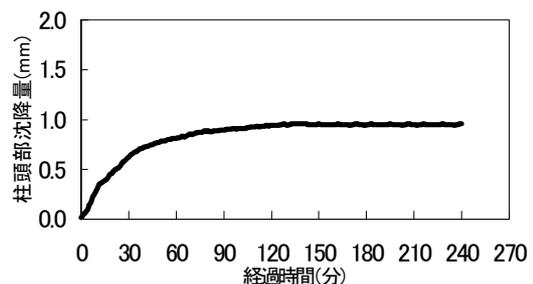


図-7 CFT柱頭部での沈降量

(2) 鋼管ひずみ

各高さにおける対角線上の2点において打設によって生じる鋼管の周方向ひずみの計測を行った。図-5に鋼管周方向ひずみの経時変化を示す。この結果打設中の鋼管柱には圧入圧力によるひずみが生じるが、2日ほどでほぼ解消する傾向を示すことが分かった。

(3) 圧入圧力

ポンプ圧送時の打設口付近の圧送圧力を計測するため、圧入口の手前の圧送管に圧力計を取付け、コンクリート打設中の圧入圧力を計測した。図-6に圧入圧力計測結果を示す。打設中にかかる圧力はポンプの脈動により若干の振幅を持つが、その下端はほぼ液圧で推移することが確認された。

(4) 沈降量

コンクリート充填完了後に鋼管天端にレーザー変位計をセットし、コンクリート天端の沈降量を計測した。図-7に柱頭部での沈降量を示す。コンクリート天端はコンクリート圧入後約二時間半にわたって沈降するもののその後は一定の値を示し、その値は約1.0mmであった。

6. まとめ

(1) 基礎コンクリートの水中不分離性コンクリートは掘跡の周囲に囲い枠を設け、さらに高さ調整枠を用いることで天端を精度良く仕上げることができた。

(2) 20mの大水深下で、厳冬期に打設された水中不分離性コンクリートから現地コアを採取し圧縮強度を確認したところ、十分な強度を有する事が確認された。

(3) SRC梁に適用した中流動コンクリートは、上下フランジの下面に残留気泡が普通コンクリートに比べ少なく、バイブレータの振動時間の長短による影響と考えられた。

(4) CFT鋼管柱のコンクリート圧入時の圧入圧力はほぼ液圧と同等で推移し、鋼管には圧入圧力に伴うひずみが生じるものの2日ほどで解消することが確認された。また鋼管の天端沈

降量は約1.0mm程度であることが確認された。

7. おわりに

ジャケット重量が最大1,700tと大きく、また外洋からのうねりの影響を受ける中、据付精度が高さ方向で+5cm~-10cmと厳しい制約があったものの、大型起重機船のハンドリングに細心の注意を払いながら施工を行い、要求された精度内で据え付け、無事工事竣工することができた。写真-5にジャケットの据付状況を、写真-6に栈橋現況を示す。



写真-5 ジャケット据付状況



写真-6 ジャケット栈橋現況

[謝辞] 本工事に関わった多くの関係各位に、この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1)岡田正美ほか：中流動コンクリートの流動性と基礎物性に及ぼす振動と粗骨材量の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.22、No.2、pp.919-924、2000.6
- 2)羽淵貴士ほか：密に配筋されたSRC梁への中流動コンクリートの適用性について、土木学会第56回年次学術講演会、pp.982-983、2001.10