

# 報告 パネル式ケーソン接合部へのコンクリート充填試験とひび割れ調査

藤澤孝夫\*1・清宮 理\*2・吉江宗生\*3

要旨：港湾用ケーソン製作の省力化のために、パネルシステムケーソンが開発されている。この工法は鋼製の内部骨格の外周に鋼・コンクリート合成版パネルを取り付けて、パネル同士の接合部に充填コンクリートを打設して一体化する。充填コンクリートにはできるだけ乾燥収縮が少なくひび割れの発生が極力少ないものを選定する必要がある。実施工に先立ち4種類の充填コンクリートの充填性試験、膨張収縮量測定および接合部のひび割れ発生状況を追跡調査した。この結果、4種類のコンクリートとも充填性には問題はなかった。コンクリートの種類により3ヶ月までひび割れ発生に差が見られた。  
 キーワード：港湾用ケーソン，パネル接合，充填コンクリート，ひび割れ幅，省力化

## 1. はじめに

従来の鉄筋コンクリート製ケーソンは一体で製作されるが、写真-1に示す施工中のパネルシステムケーソンは、あらかじめ工場で製作されたパネルをケーソン製作現場に搬入し、鋼製の骨格に取り付けて製作される。本工法により、ケーソン製作現場での熟練作業による鉄筋加工や鉄筋組立、型枠、支保工の組立解体、コンクリート打設等の作業が大幅に低減できる。この結果苦渋作業の低減、現場の安全性向上、現場の工期短縮等が計られる。しかしパネル化することによってパネル同士を接合する接合部が存在する。このため接合部の構造形式によっては接合部の強度低下と耐久性が懸念される。力学特性は既に検討[1]済みであり、今回は本施工に先立ち、実物大模型試験により各充填コンクリートの充填性試験と耐久性と関連する接合部のひび割れ発生状況と長期のひび割れ変動量を調べた。

## 2. 接合部の構造形式

パネル同士を接合する接合部の構造形式を写真-2に示す。パネルは鉄筋コンクリートと鋼板とをスタッドにより力学的に合成した部材である。ケーソンの外側に鉄筋コンクリート部分が内側に鋼板が位置する。接合部の間隔は700mmで、隣接するパネルから鉄筋が突き出ており、その鉄筋同士をスプライススリーブ継手で結合する。その後接合区間に充填コンクリートを打設して接合部を完成させる。スタッド、鉄筋、継手が密に配置され

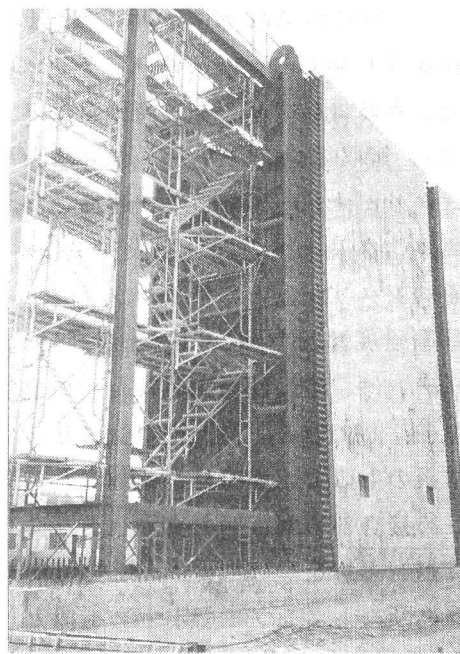


写真-1 パネルシステムケーソン製作状況

\*1 運輸省港湾技術研究所 構造部 構造強度研究室研究官（正会員）

\*2 “ “ 構造強度研究室長、工博（正会員）

\*3 運輸省第二港湾建設局 横浜調査設計事務所 技術開発課長

ているため、接合部のコンクリートの充填性には十分な注意が求められる。また写真-1に示すように接合部鋼板の裏側(ケーソンの内側)には鉄骨が組み込まれており、内部骨格と溶接により一体化する。接合部の鋼板部(t=9mm)にはスタッドベジルを配置してコンクリートとの一体化を図っている。コンクリート打設後、接合部の充填コンクリートは膨張ならびに収縮が生じ、パネル端部と充填コンクリートの間の目地にひび割れが生じる可能性がある。このため接合部に充填するコンクリートはひび割れ発生をできるだけ抑えることのできるコンクリートの選定が重要になる。

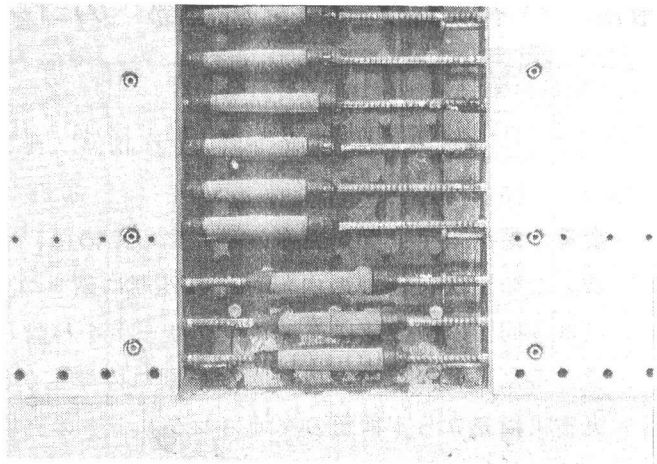


写真-2 接合部の構造形式

### 3. 試験体の構造と充填コンクリート

図-1に示すような実物大の接合部模型試験体を4体製作して、4種類のコンクリートで接合部の充填性試験を護岸上のヤード内で行った。試験体は南向きに一列に設置した。充填部の高さは3.0m、幅は0.7m、奥行きは0.3mである。充填コンクリートとして、普通コンクリート、膨張コンクリート[2]、無収縮コンクリートおよび高流動コンクリート[3]の4種類を選定した。各充填コンクリートの配合を表-1に示す。普通コンクリートと膨張コンクリートの設計基準強度は $24\text{N}/\text{mm}^2$ とした。無収縮コンクリートは、流動性を高めるために単位水量を多くしている。高流動コンクリートは増粘系のもので、膨張材を添加した。あらかじめ接合部の鋼板側の高さ1mと2mの2箇所にはベント管を設けておき、その箇所からコンクリートポンプ車のホースを挿入してコンクリートを打設した。最終打設は接合部模型試験体天端より打設した。なお、普通コンクリートと膨張コンクリートはパイプレータにて締固めを行ったが、無収縮と高流動コンクリートについては締固めを行っていない。

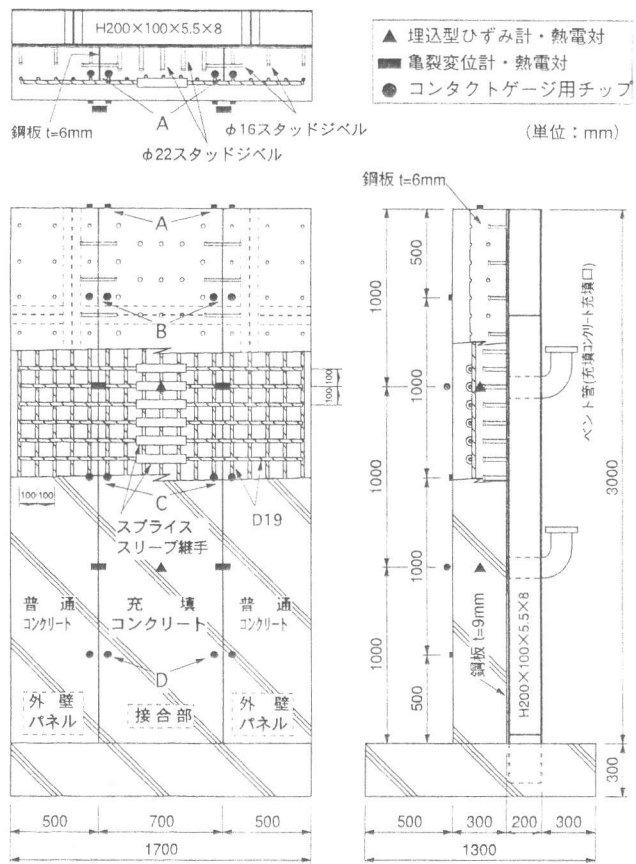


図-1 接合部模型試験体の概要

### 4. 膨張収縮量測定とひび割れ幅測定方法

4種類のコンクリートの自由膨張収縮量を調べるため、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ のコンクリート試験体内にひずみ計と熱電対を埋込んだ自由膨張収縮試験(現場試験)を行うとともに、図-1に示すよ

表-1 各充填コンクリートの配合

コンクリートの種類	スランプ または スランプフロー (cm)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )								
				水 W	セメント C	混和材		細骨材 S	粗骨材 G	増粘剤 VA	混和剤	
						EX	AD				SP	AE
普通	12±2.5	57.0	43.3	160	NC 280	0	---	793	1080	---	---	0.56
膨張	12±2.5	57.0	43.3	160	NC 250	30	---	793	1080	---	---	0.50
無収縮	50±10	44.0	49.7	185	NC 360	---	60	816	861	---	---	0.90
高流動	55±10	50.0	52.0	185	BB 340	30	---	878	836	0.46	8.14	---

(セメント) NC: 普通セメント、BB: 高炉B種セメント (混和材) EX: 膨張材、AD: 無収縮材 (混和剤) SP: 高性能AE減水剤、AE: AE減水剤標準形

うに実物大の接合部模型試験体にひずみ計を埋込んで計測を行った。なお自由膨張収縮の試験体は、接合部模型試験体の前面に置き同一の養生(気乾養生)方法をとった。目地のひび割れ幅の測定は、コンクリート打設直後から約90日間とコンクリート打設後6カ月から1カ年における追跡調査の2期間行った。実際のケーソンは水中に位置するが、試験体を海岸線に近い陸上に設置して計測を行った。前半の期間の調査では図-1に示す目地の境界線位置に、亀裂変位計を4台設置してひび割れ幅を計測した。また後半の期間の調査では、コンタクト形ミクロンストレインゲージでひび割れ幅を8箇所計測した。

## 5. 試験結果

### 5.1 充填性確認試験と打設表面のひび割れ観察

普通コンクリートと膨張コンクリートは、打設中に鉄筋にコンクリートが塊として付着したが、バイブレータで振動を与えるとただちに落下した。無収縮コンクリートと高流動コンクリートは自然流下で打設面が水平状態のまま上昇した。打設後型枠をはずした段階でコンクリート表面の状態を観察したところいずれのコンクリートでも若干気泡が残ったものの空洞や材料分離は観測されなかった。充填性に関して4種類のコンクリートで有意な差異は見られなかったが、今回の試験体のようにかなり複雑な接合部の構造で打設高さが高くなった場合、無収縮や高流動コンクリートの方が締固め作業を行わなくても空隙やブリージングの発生がなく充分施工性が良かった。

コンクリート表面のひび割れ状況(目地を除く)を打設後3カ月間目視により観察した。壁面には時間の経過とともに、乾燥収縮によるものと考えられるひび割れが発生したが、なかには途中で消滅したものもあった。全体的に長さ数cm程度の小さなひび割れが数箇所生じた。このひび割れは非常に小さかった。

### 5.2 膨張収縮試験(現場試験)

小型のコンクリートブロックで行った自由膨張収縮試験結果を図-2に示す。収縮の大きい順は高流動コンクリート、普通コンクリート、無収縮コンクリートで、最大の収縮ひずみ量は高流動コンクリートで約 $370 \times 10^{-6}$ 、普通コンクリートでは約 $220 \times 10^{-6}$ であった。また、膨張コンクリートの場合は約90日まで収縮は生じていなかった。無収縮コンクリ

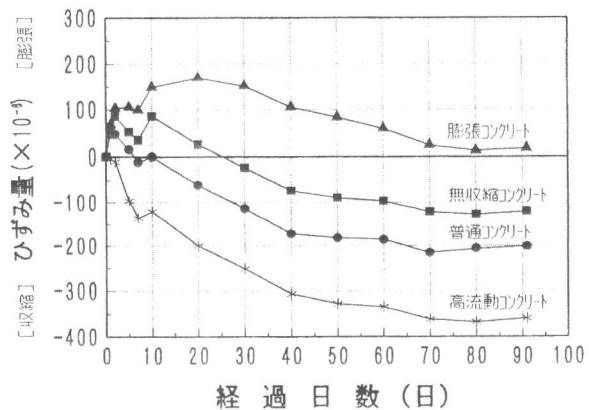


図-2 コンクリートブロックによる自由膨張収縮試験

ートが膨張コンクリートより収縮が大きくなったのは、混和材の特性の相違および単位水量を多くしたのが原因と考えられる。膨張収縮はコンクリート打設後80日程度で安定しほぼ一定値となった。

実物大の接合部模型試験体での膨張収縮試験結果を図-3に示す。コンクリート試験体よりも拘束度が大きいため、収縮は最大で普通コンクリートの約 $100 \times 10^{-6}$ 、最少でも膨張コンクリートおよび無収縮コンクリートの約 $40 \times 10^{-6}$ で、自由膨張収縮試験ほどコンクリートの種類による差は見られなかった。高流動コンクリートは、初期に膨張を行いほぼ10日以降に収縮状態になったが、膨張材を添加した同一コンクリートにもかかわらず自由膨張収縮試験と結果が異なった。

### 5.3 ひび割れ幅変動量

コンクリート打設後から90日間のパネルと充填コンクリート間の目地でのひび割れ幅変動量を図-4に示す。図中は接合部の両側でのひび割れ幅の合計を示している。このひび割れ幅の最大は高流動コンクリートで約0.11mm、最小は膨張コンクリートで約0.07mmと小さい値であった。最終的にひび割れ幅の変動量が小さかったのは、膨張コンクリート、無収縮コンクリートの順で、この結果は図-3に示した膨張収縮率の傾向とおおむね一致していた。ただし、普通コンクリートの場合、ひび割れ幅の変動量は90日たっても増加傾向にあった。またひび割れは普通コンクリートを除き目地の両側でほぼ同程度に生じた。普通コンクリートでは、目地の片側にひび割れが集中した。

コンクリート打設後6カ月目から1カ年目におけるひび割れ幅測定期間中の外気温の温度変化を図-5に示す。外気温の低下とともにひび割れ幅は増加の傾向にあった。測定期間は9月中旬から3月上旬までとした。図-6~図-9に各充填コンクリートのひび割れ幅変動量を示す。図-6に示す普通コンクリートで1日目と43日目とでひび割れ幅の差を求めると、目地のA点での開きは片側で約0.05~0.06mmであった。B~D点については各測定点でそれほど差はなく目地の片側で約0.01mmであった。A点の開きが大きいのは、B~D点の全周が鋼板や鉄筋で拘束さ

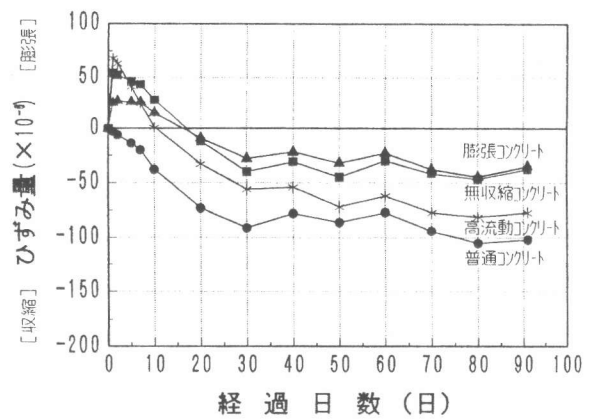


図-3 試験体でのコンクリートのひずみ量測定結果

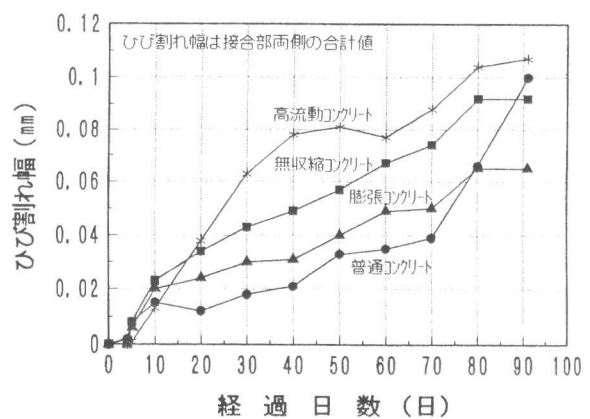


図-4 ひび割れ幅変動量(打設後~90日間)

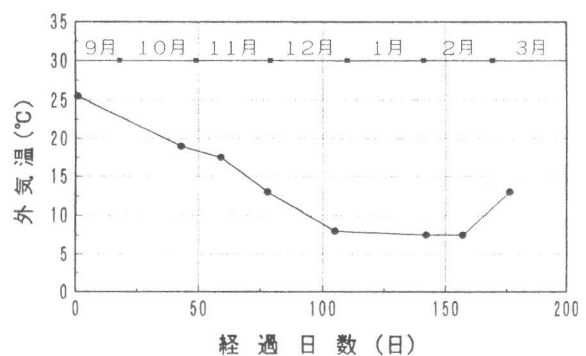


図-5 外気温の温度変化

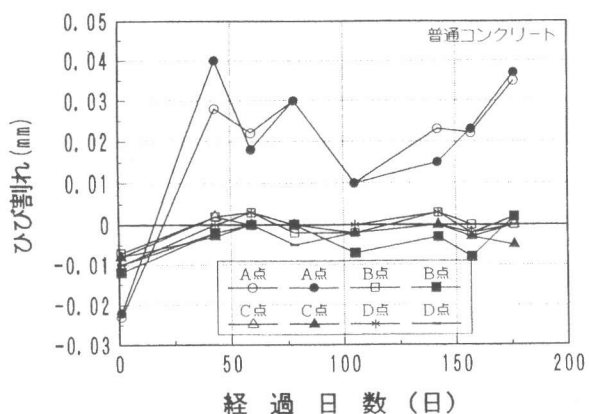


図-6 ひび割れ幅変動量  
(普通, 打設後半年~1年)

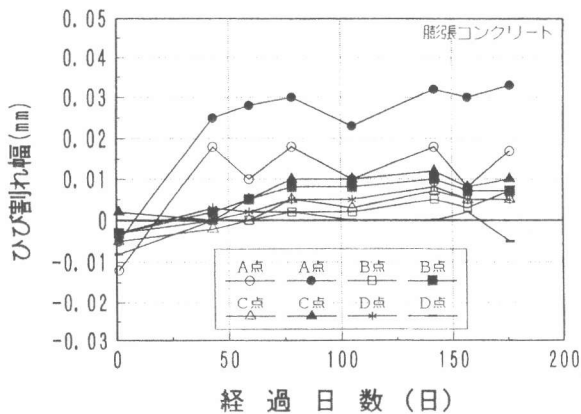


図-7 ひび割れ幅変動量  
(膨張, 打設後半年~1年)

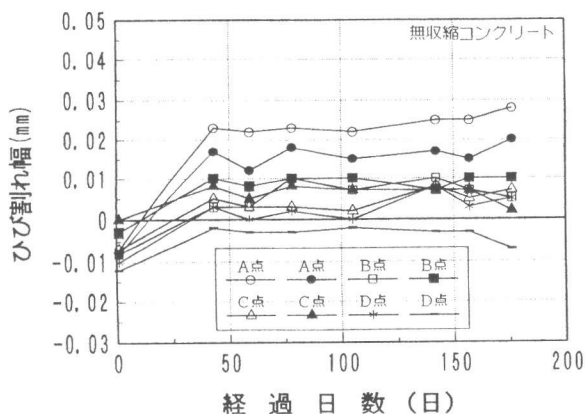


図-8 ひび割れ幅変動量  
(無収縮, 打設後半年~1年)

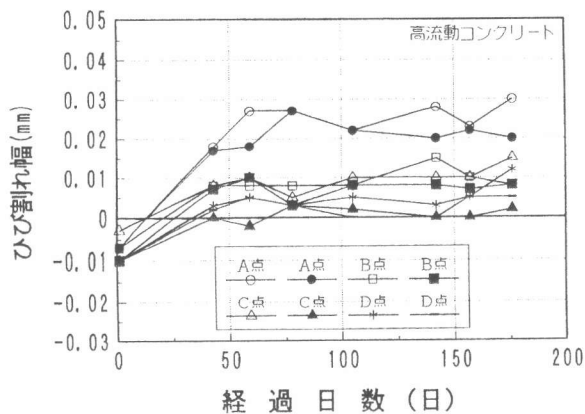


図-9 ひび割れ幅変動量  
(高流動, 打設後半年~1年)

れているのに対して、A点は拘束範囲が少ないのが原因と考えられる。各種コンクリートのA~D点のひび割れ幅変動量を表-2に示す。A点でひび割れ幅変動量の大きいのは普通コンクリートで、膨張コンクリート、無収縮コンクリートおよび高流動コンクリートについてはほぼ同じで、ひび割れ幅変動量は普通コンクリートの約1/2であった。B~D点のひび割れ幅最大変動量は、各種コンクリートであまり差はなく変動量で最大0.01~0.02mmであった。またB~D点のひび割れ幅変動量はA点に対して普通コンクリートの場合で約1/4~1/6、他の3種類のコンクリートでは約1/2~1/4の値であった。

表-2 各種コンクリートのひび割れ幅変動量比較 (A~D点)

コンクリートの種類	測定期間中のひび割れ幅最大変動量 (mm)			
	A点	B点	C点	D点
普通	0.060	0.010~0.015	0.010	0.010~0.015
膨張	0.030~0.040	0.010~0.015	0.010	0.010
無収縮	0.030~0.035	0.015~0.020	0.010~0.015	0.010~0.020
高流動	0.035	0.020	0.015~0.020	0.015~0.020

5.4 目地のひび割れ深さ

目地のひび割れ深さを調査した。調査方法は目地に染料を流し込み、試験体の解体時に染料の染み込み深さを測定してひび割れ深さとした。ひび割れ深さが深い箇所は、A点付近の角部(ケーソンの天端に相当)であった。ひび割れは試験体の上面と側面の両方から進行し、深さは最大

で約50~60mmに達していた。なおコンクリートの種類によってひび割れ深さはそれほど顕著な差なかった。B~D点付近のひび割れ深さの測定値を表-3に示す。ひび割れ深さが最も深かったのは普通コンクリートで、この値は30~40mmであった。膨張コンクリート、無収縮コンクリートおよび高流動コンクリートでのひび割れ深さは最小で約10mm、最大で約30mmで、普通コンクリートよりひび割れ深さが小さかった。

表-3 各種コンクリートのひび割れ深さ

コンクリートの種類	ひび割れ深さ(mm)
普通	30~40
膨張	10~20
無収縮	10~25
高流動	10~30

## 6. ま と め

- (1) 充填性試験では、いずれの種類コンクリートでも空隙や材料分離が生じなかった。ただし高所での打設や締固めを考慮すると、無収縮コンクリートや高流動コンクリートの方が施工性が良かった。またいずれの種類コンクリートでも表面の乾燥収縮によりひび割れの発生は少なかった。
- (2) 充填性試験の試験体で計測されたコンクリートの収縮ひずみ量は、最大で普通コンクリートの約 $100 \times 10^{-6}$ 、最少で膨張コンクリートの約 $40 \times 10^{-6}$ であった。どの種類の充填コンクリートも膨張収縮は打設後80日程度でほぼ一定となった。
- (3) コンクリート打設90日後における目地のひび割れ幅は、最大で高流動コンクリートの約0.11mm、最小は膨張コンクリートの約0.07mmであった。その後ひび割れ幅の増加はほとんどみられなかった。
- (4) ひび割れ幅は、ケーソンの天端に相当する位置で大きく他の部分では小さかった。この箇所でのひび割れ幅は普通コンクリートが大きく、その他の種類のコンクリートでは普通コンクリートの約1/2であった。
- (5) 目地のひび割れ深さは、ケーソンの天端に相当する角部の位置でコンクリートの種類に関係なく50~60mmであった。他の部分のひび割れ深さは、普通コンクリートで30~40mm、その他の種類のコンクリートで10~30mmであった。
- (6) 収縮量、ひび割れ幅、ひび割れ深さ等の測定から、今回用いた膨張コンクリート、無収縮コンクリートは普通コンクリートよりも優れた性能を示した。高流動コンクリートは施工性に優れるが、収縮量が大きく今回の配合の見直しが必要であると考えられる。

## あとがき

現在パネルシステムケーソンの建設が横須賀港で行われている。1函目は平成8年1月に現地に据付けられた。現場では、今回の試験結果を踏まえ、施工性、工費実績等を勘案して無収縮コンクリートが採用された。現在のところ接合部にひび割れの発生等は見られず、良好な工事結果を得たと考える。

## 参考文献

- 1) 清宮理、藤澤孝夫ほか：合成版パネルを用いた港湾用ケーソンの接合部載荷試験、構造工学論文集、Vol.40A、pp.1389-1399、1994.3
- 2) 土木学会：膨張コンクリート設計施工指針(案)、コンクリートライブラリ-第45号、1979.11
- 3) 福手勤、濱田秀則ほか：増粘剤を用いた高流動コンクリートの過密配筋部材への適用性、港湾技術研究所報告、第33巻第2号、pp.231-257、1994.6