

[34] 水中コンクリート打設に伴って海水からコンクリート中にとりこまれる塩分量について

正会員 大 友 忠 典（鹿島建設技術研究所）
 正会員 本 橋 賢 一（鹿島建設技術研究所）
 正会員 ○大 野 俊 夫（鹿島建設技術研究所）
 正会員 溝 渕 利 明（鹿島建設技術研究所）

1. はじめに

水中コンクリート分野における新技術の一つとして水溶性高分子化合物混和剤を添加したコンクリートがあり、このコンクリートはまだ固まらない状態において粘性が大きく、水中で材料分離を生じにくい性質を有する。

筆者らをはじめとするグループは、「セルロースエーテル系水溶性高分子化合物を主成分とする混和剤を適量添加したコンクリートは、水中を2m程度落下させて打設しても水底に堆積したコンクリートは密実で所要の強度を有する硬化体となり、また、このコンクリートを鉄筋の上から流しこむ方法で製作した鉄筋コンクリートばかりが、品質の均等性、たわみ、ひびわれ分散性及び耐力の点で十分な性能を有する」ことを既に報告した¹⁾。

ここでは、この種のコンクリートを用いて海中で施工した鉄筋コンクリート構造物の耐久性に及ぼす影響の検討の一環として、水中コンクリート打設に伴って海水からコンクリート中にとりこまれる塩分量を調べた室内実験結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 使用材料

使用したコンクリート用材料を表-1に示す。実験の性格から、各材料に含まれる塩素分を測定した。結果を表-1中に示す。

2.2 要因と水準

実験でとりあげた要因と水準を表-2に示す。要因は、コンクリートが海水中を落下する高さ（コンクリートのコンシステンシーの指標であるスプレッド（DIN 1048に準拠）である。海水中に打設したコンクリートの量は100ℓである。

筆者らの施工実績に基づき実施にあたって推奨されるスプレッドの標準値は表-3のようである。

実験に用いた海水は、塩素イオン濃度が19.000mg/ℓの塩水（塩化ナトリウム試薬一級を使用）とした。

コンクリートの打設要領は図-1に示すとおりで、フレキシブルホースをとりつけたホッパーを用い海水を満たした鋼製容器中にコンクリートを打設した。

海中落下高さが0cmの場合はフレキシブルホースの下端をすでにうちこまれたコンクリートの上面に合せて上昇させた。海中落下高さが50cmと100cmの場合は海中落下高さはフレキシブルホースの下端と鋼製容器の底との距離とし、ホースの

表-1 使用材料

材 料	摘 要	塩素含有量 (Cℓ ⁻ 重量%)
セメント	普通ポルトランドセメント, 比重: 3.15	0.003
細骨材	富士川産川砂, 比重: 2.63, FM: 2.87, 吸水率: 1.74 %	0.008
粗骨材	大井川産川砂利, G _{max} : 25mm, 比重: 2.66, FM: 7.06, 吸水率: 0.77 %	0.007
水	調布市水道水	0.003
UWB	水中での材料分離抵抗性を高める混和剤 セルロースエーテル系水溶性高分子化合物	0.205
UWB-M	流動化剤（メラミンホルマリン樹脂スルホン酸塩）	0.061

表-2 要因と水準

要 因	水 準							
	0			50			100	
A. コンクリートが海水中を落下する高さ (cm)								
B. コンクリートのコンシステンシー・スプレッド* (cm)	37.5±1	42.5±1	47.5±1	37.5±1	42.5±1	47.5±1	42.5±1	42.5±1

* ドイツ工業規格 (DIN 1048) に基づくコンクリートのコンシステンシー試験法

位置は打込み開始から終了まで動かさなかった（図-1参照）。したがって、海中落下高さは打込み開始時に50cmまたは100cmであった、打込みがすすむにつれて後から打込むコンクリートの海中落下高さは小さくなった。

2. 3 試験項目

フレッシュコンクリートの試験項目は、スプレッド試験、空気量試験、単位容積重量試験及び温度の測定である。

海中に打設する前の時点でのコンクリートに含まれる塩分量を分析するために、円柱供試体（ $\phi 10 \times h 20 \text{ cm}$ ）を気中で製作し、硬化後に分析を行った。

鋼製容器内に打設したコンクリートは、室内放置後、材令2日で脱型し、以後湿布養生を行った。材令7日で硬化体からコアを2本採取し、コアから厚さ5cmの試験片をドライカッターを用いて切り出し、試験片に含まれる塩分量を測定した。

円柱供試体及びコアに含まれる塩分量の測定は、片脇氏の私案“コンクリートに含まれる塩化物の定量方法に関する一私案”²⁾に準拠して、全塩分について分析を行った。

コアの採取位置及び試験片の切り出し位置は図-2に示すとおりである。

3. 実験結果

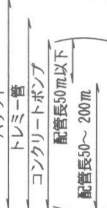
以下において硬化コンクリートに含まれる塩分量は、コンクリート1ml中の塩素重量（ $\text{kg}/\text{ml}(\text{Cl}^-)$ ）として表わす。

配合を表-4に、フレッシュコンクリートの試験結果及び硬化コンクリートの塩分含有量試験結果を表-5に示す。

海中落下高さ、スプレッド及び試験片の切り出し位置（コアの採取位置と一本のコアの中での上・中・下）が硬化コンクリートの塩分含有量に及ぼす影響を、図-3に示す。

海中打設前の時点でコンクリートに含まれていた塩分量は表-5中に示すとおりで、試験値は全て $0.1 \text{ kg}/\text{ml}(\text{Cl}^-)$ 未満であった。一方、セメント、骨材等の材料から供給される塩分の量を表-1中に示した各材料の塩素含有量と表-4中に示した各材料の単位量から計算すると、各配合とも約 $0.1 \text{ kg}/\text{ml}(\text{Cl}^-)$ となった。両者に相違が生じた原因は明らかでない。しかしながら、図-3から分かるように、海中落下させた後の硬化コンクリート試験片には $0.1 \text{ kg}/\text{ml}(\text{Cl}^-)$ を超える塩

表-3 実施工にあたって推奨される
スプレッドの標準値

打込み方法	構造物の種類 及び形状	コンシステンシー	
		フロー (cm, スランプ試験に おける試料の拡がり径)	スプレッド (cm, DIN 1048に準拠)
	斜路	23~39	35~40
	一般的な構造物 (形状が単純なもの)	39~46	40~45
	一般的な構造物 (鉄筋コンクリート)	46~53	45~50
	断面が狭い空洞への充填	53~59	50~55
	断面が狭く、奥行が深い 空洞への充填	59以上	55~60

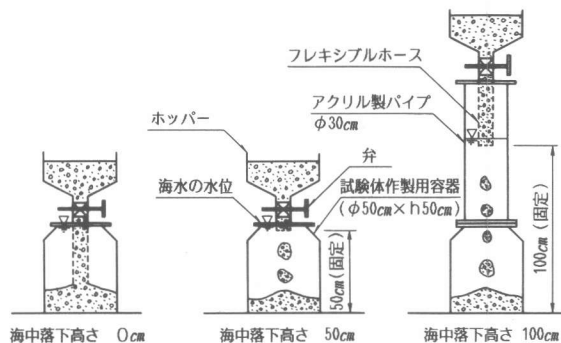


図-1 コンクリートの打設要領

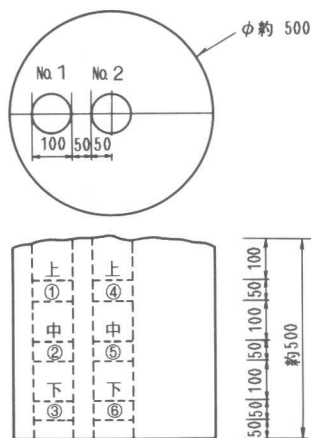


図-2 コアの採取位置
および試験片の切り出し位置

表-4 配合

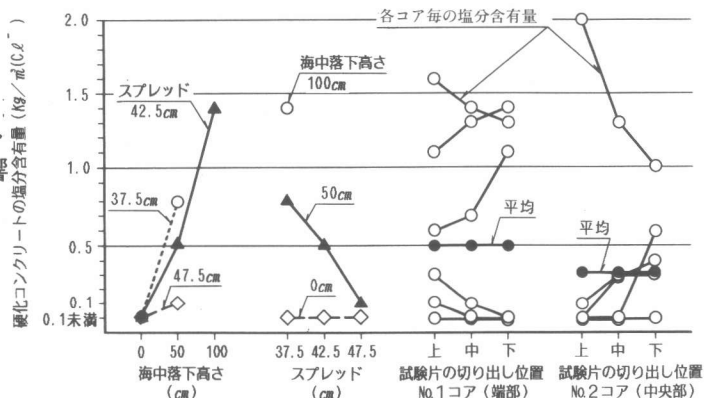
配 合 No.	G _{max} (mm)	スプレッド (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/ml)					
						W	C	S	G	UMB	UMB-M
H-37.5	25	37.5±1	3±1	55	43.1	176	327	777	1039	2.07	4.0ℓ
H-42.5	25	42.5±1	3±1	55	41.1	191	354	717	1039	2.24	3.5ℓ
H-47.5	25	47.5±1	3±1	55	38.1	211	391	632	1039	2.47	4.0ℓ

表-5 フレッシュコンクリートの試験結果及び硬化コンクリートの塩分含有量試験結果

配 合 No.	海中落下高さ (cm)	まだ固まらない状態における試験結果				コンクリートの塩分含有量* (Kg/㎡ (Cℓ ⁻))	海中を落下させたコンクリート硬化体の塩分含有量 (Kg/㎡(Cℓ ⁻))									
		スプレッド (cm)	空気量 (%)	単位容積重量 (Kg/㎡)	温 度 (℃)		No.1コア(端部)				No.2コア(中央部)				全平均	
							上	中	下	平均**	上	中	下	平均**		
H-37.5	0	37.5	2.5	2370	25.0	0.1未満	0.1	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	
	50	37.5	2.4	2360	25.2	0.1未満	1.1	1.3	1.4	1.3	0.1	0.3	0.3	0.2	0.8	
H-42.5	0	42.0	2.3	2350	26.0	0.1未満	0.3	0.1	0.1未満	0.1	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	
	50	42.5	2.2	2370	24.9	0.1未満	0.6	0.7	1.1	0.8	0.1未満	0.3	0.4	0.2	0.5	
	100	42.0	2.4	2350	25.6	0.1未満	1.6	1.4	1.3	1.4	2.0	1.3	1.0	1.4	1.4	
H-47.5	0	47.0	2.6	2310	26.0	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	
	50	47.0	2.4	2320	24.9	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.6	0.2	0.1		
縦の列での平均**						0.5	0.5	0.5	—	0.3	0.3	0.3	—			

* 海中打設とは別途に作製した円柱供試体における分析結果
** 平均の計算にあたり、0.1未満のものは0.0として取扱った。

図-3 海中落下高さ、スプレッドおよび試験片の採取位置が硬化コンクリートの塩分含有量におよぼす影響



分が検出されたものがあり、海中落下前の数値 (0.1kg/ml (Cℓ⁻) 未満) を上回ることから、このような試験片中には打設に伴って海水の塩分がとりこまれたとみなしてさしつかえないと考えられる。

図-3 から次のことが示される。

- (1) 海中落下高さが大きくなるにしたがって、コンクリートの塩分含有量は増大した。スプレッドの大小にかかわらず海中落下高さが0cmの場合には塩分含有量は0.1kg/ml (Cℓ⁻) 未満であり、海中打設前の塩分含有量と同等であった。

(2) スプレッドが小さいほど塩分含有量は増大した。海中落下高さが50cmの場合、塩分含有量はスプレッドが37.5cm、42.5cm、47.5cmの条件でそれぞれ $0.8\text{Kg}/\text{m}^3$ 、 $0.5\text{Kg}/\text{m}^3$ 、 $0.1\text{Kg}/\text{m}^3$ (Cl^-) であった。

(3) 個々のコアでは、上・中・下の位置により塩分含有量のバラツキが見られたが、場所による差については明らかな傾向は認められなかった。

(4) コアの採取位置の影響を見ると、塩分含有量の平均値は中央部で $0.3\text{Kg}/\text{m}^3$ (Cl^-)、端部で $0.5\text{Kg}/\text{m}^3$ (Cl^-) であり、端部の方が塩分含有量が大きかった。このような差が生じた原因の一つとして、海中落下高さが大きくなった打ち始めのコンクリートほど海水からとりこまれる塩分量が多くなり、塩分量の多い打ち始めのコンクリートが周囲に広がって端部に多く集まったことが推測される。

4. 限界塩分量から見た打設条件の検討

コンクリート中の塩分と鉄筋の発錆との関係を調べた既往の研究では、海砂の塩分量や練りまぜ水の塩分濃度を要因として鉄筋の発錆に及ぼす影響を調べ、限界塩分量を報告している。しかし、研究毎に限界塩分量の単位が異なっていて比較しにくいので、各研究者が得た限界塩分量を Kg/m^3 (Cl^-) に換算した。すると限界塩分量は大略、岸谷³⁾は $0.2\text{Kg}/\text{m}^3$ 、鬼丸⁴⁾は $0.3\text{Kg}/\text{m}^3$ 、大即⁵⁾は $0.7\text{Kg}/\text{m}^3$ 及び岡田⁶⁾は $1.2\text{Kg}/\text{m}^3$ になり、若干異なった値が報告されている。このことは、限界塩分量は他の要因(コンクリートの水セメント比やかぶり、試験体の置かれた環境等)により変化し、一つの代表値で表わすのが難しいことを意味するものであろう。

ここでは水中コンクリート打設に伴って海水からコンクリート中にとりこまれる塩分量が JCI 海洋コンクリート構造物の防食指針(案)の限界塩分量($0.5\text{Kg}/\text{m}^3$ (Cl^-)))以下となることを前提として実験結果を以下に総括する。

図-3 から、スプレッドが42.5cmより小さいコンクリートを50cmを超える高さから海中落下させて打設した場合、 $0.5\text{Kg}/\text{m}^3$ (Cl^-) を超える塩分が海水からとりこまれ、鉄筋に錆が生じる可能性が大となる。したがって、セルロースエーテル系水溶性高分子化合物混和剤を添加して水中での材料分離抵抗性を高めたコンクリートであっても海中で鉄筋コンクリート構造物を施工する場合には、海中落下高さを50cm以下に制限し、かつスプレッドが42.5cm以上の配合を選定することが望ましいと言えよう。また、除塩の程度が劣る海砂や塩化物含有量が比較的多い混和剤等を用いる場合には、これらからもたらされる塩分を考慮した上で海中落下高さ及びスプレッドを選定し、管理する必要があるだろう。

5. まとめ

セルロースエーテル系水溶性高分子化合物混和剤の添加により水中での材料分離抵抗性を高めたコンクリートを用いて海中で施工した鉄筋コンクリート構造物の耐久性に及ぼす影響の検討の一環として、水中コンクリート打設に伴って海水からコンクリート中にとりこまれる塩分量を室内実験により調べた。

その結果、海中落下高さが0cmから100cmの範囲で大きいほど塩分量は増大し、またスプレッドが37.5cmから47.5cmの範囲で小さいほど塩分量は増大した。海水からコンクリート中にとりこまれる塩分量を JCI 海洋コンクリート構造物の防食指針(案)の限界塩分量($0.5\text{Kg}/\text{m}^3$ (Cl^-)))以下とするには、海中落下高さを50cm以下に制限し、かつスプレッドが42.5cm以上の配合を選定することが望ましいことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 中原他；ハイドロクリートを用いて水中施工した無筋及び鉄筋コンクリートの実験例，鹿島建設技術研究所年報Vol.19，(1981-6)
- 2) 片脇；コンクリート中に含まれる塩化物の定量方法に関する一私案，JCI 海洋コンクリート構造物の防食指針(案)，(1983-2)
- 3) 岸谷；海砂中の塩分が鉄筋に及ぼす影響と防錆対策，コンクリートジャーナルVol.12，No.10，(1974-10)
- 4) 鬼丸他；コンクリート中の塩分による鉄筋の発錆に関する試験 — 長期暴露試験 —，日本道路公団試験所報告，(1984-11)
- 5) 大即他；モルタル中铁筋の不動態に及ぼす塩素の影響，土木学会論文集第360号/V-3，(1985-8)
- 6) 岡田他；温度促進試験によるコンクリート中の鉄筋の腐食について，材料Vol.26，No.290，(1977-11)