

港湾構造物への
シェルコンクリート適用ガイドライン(案)

< 改訂版 >

平成 21 年 3 月

国土交通省 東北地方整備局
仙台港湾空港技術調査事務所

目 次

第 1 章 総則	1
1.1 適用の範囲	1
1.2 用語の定義	2
第 2 章 シェルサンドの製造方法	3
2.1 原材料	3
2.2 破碎と粒度	5
第 3 章 シェルサンドの性質	6
3.1 要求品質	6
3.2 有害物含有量の限度	7
第 4 章 シェルコンクリートの製造方法	8
4.1 特性値および配合条件	8
4.2 シェルサンド置換率	9
4.3 単位水量	10
4.4 空気量	10
4.5 プラントでの製造	11
4.6 コンクリートミキサー船での製造	12
4.7 仕上げ	13
4.8 養生・脱型	13
第 5 章 シェルコンクリートの耐久性	14
第 6 章 港湾構造物での適用性	15
第 7 章 関係法規との関連について	16
7.1 関連法規類	16
7.2 廃棄物処理法上の留意点	16
参考文献	18

第1章 総則

1.1 適用の範囲

- (1) 本ガイドライン(案)は、コンクリート用細骨材の粒度に適合できる程度に破碎したホタテ貝殻を、細骨材の一部に置換して製造されたコンクリートを港湾構造物へ適用する際の配合、ならびに施工上の留意点を示すものである。本ガイドライン(案)に示されていない事項は、原則として土木学会コンクリート標準示方書「施工編」、「設計編」(2007年制定)による。
- (2) 本ガイドライン(案)は、原則として普通コンクリートに適用する。

【解説】

(1)について

わが国で生産されるホタテ貝は年間約 51 万 t (平成 19 年度)であり、その半分以上のホタテ貝殻の多くは、動植物残渣として廃棄されている。このため、ホタテ貝殻の有効利用に対する期待は高く、ホタテ貝殻を恒常的に、かつ大量に使用できる分野への用途拡大が望まれていた。

一方、コンクリート用骨材については、天然骨材の枯渇、環境保全に伴う骨材採取区域の制限等から、産業副産物等のコンクリート用骨材への活用が進められている。

このような状況の下、ホタテ貝殻を JIS A 5005 に規定されるコンクリート用細骨材の標準粒度程度に破碎して、天然骨材と混合して標準粒度を満足させ、コンクリート用細骨材として適用しようとする一連の研究がなされ、技術的な知見と実績が積み重ねられてきた。

本ガイドライン(案)は、この「ホタテ貝殻利用コンクリート」を港湾構造物へ適用する際の配合設計上、ならびに施工上の留意点を示したものであり、また、港湾構造物以外への適用も可能としている。なお、本ガイドライン(案)に示されていない事項は通常のコンクリートと同様とみなして、土木学会コンクリート標準示方書「施工編」、「設計編」(2007年制定)によるものとする。

(2)について

特殊コンクリートへの適用に関しては、別途試験による確認が必要である。

1.2 用語の定義

本ガイドライン(案)では、用語を以下のように定義する。	
シェルサンド	天然骨材と混合使用してコンクリート用細骨材の標準粒度を満足する状態に破碎したホタテ貝殻破碎砂。
シェルサンド置換率	コンクリート用細骨材のうち、シェルサンドが占める容積を全細骨材の容積に対して百分率で表したもの。
シェルコンクリート	シェルサンドを細骨材の一部に置換して製造されたホタテ貝殻利用コンクリート。

【解説】

シェルサンドについて

シェルサンドの名称は、既に他の貝殻破碎物でも使用されているが、本ガイドライン(案)においてはJIS A 5005に規定されるコンクリート用細骨材の標準粒度程度に破碎されたホタテ貝殻で、天然骨材と混合使用することによって標準粒度を満足できる状態のものと定義した。

なお、土木学会コンクリート標準示方書「施工編」(2002年制定)では、貝殻の海砂への混入に関しては、特に大きな貝殻片や巻貝が混入したものでなければ、実用上問題になることはあまりない¹⁾とされている。

シェルサンド置換率について

コンクリートの細骨材のうちのシェルサンドが占める容積割合を表したものであり、細骨材のすべてをシェルサンドに置き換えた置換率100%の試験データも報告されているが、後述するように、本ガイドライン(案)ではコンクリート用細骨材の標準粒度の範囲に入ること、施工上は通常の骨材のコンクリートとほぼ同様な扱いができること等を考慮して、シェルサンド置換率は50%を上限値とした。

シェルコンクリートについて

ホタテ貝殻以外でも牡蠣殻を破碎したものを使用したコンクリートも研究されているが、本ガイドライン(案)では、比較的生産地が限定されており、品質のばらつきが少ないことからホタテ貝殻を使用したコンクリートをシェルコンクリートと定義した。

また、ホタテ貝殻を破碎せずにプレパックド方式で製造した漁礁ブロック等も開発されているが、本ガイドライン(案)では土木学会コンクリート標準示方書「施工編」、「設計編」(2007年制定)に準拠することを基本として、これを対象外とした。

第2章 シェルサンドの製造方法

2.1 原材料

シェルサンドの製造は、ホタテの加工過程において原貝の洗浄，およびボイル加工処理を施した後に脱殻した貝殻を使用することを原則とする．これらの加工処理を経ていないホタテ貝殻を使用してシェルサンドを製造する場合は，製造されたシェルサンドの有機不純物，および塩化物量が JIS A 5308 の附属書 1 の規定値を満足していることを確認して使用する．

【解説】

ホタテ貝は，貝殻が 6～8cm 程度で水揚げ・出荷され，加工処理を経て冷凍ホタテや干貝柱として販売されている半成貝（新貝とも呼ばれる）と，貝殻が 10 数 cm まで成長した段階で水揚げ出荷される大型貝（三年貝とも呼ばれる）とに大別される．

前者は生産の過程でボイル加工されていることから貝殻に有機物，塩化物量が少なく，後者は多くが貝殻の付いた状態で販売店，飲食店等へ出荷されるため，廃棄される貝殻の量自体は多くないが，一部は野積み状態で放置されており，有機物等の付着や，規定値を越える塩化物量がある場合がある．

図 2-1 および図 2-2 に冷凍ホタテ，および干貝柱の製造加工フローを示す．これら加工用ホタテは水揚げ後，洗浄とボイルの工程を経る．このため，脱殻され貝殻置場に搬入されたホタテ貝殻は塩化物量，および有機物が比較的少なく，そのままシェルサンドの原材料として使用することが出来る．

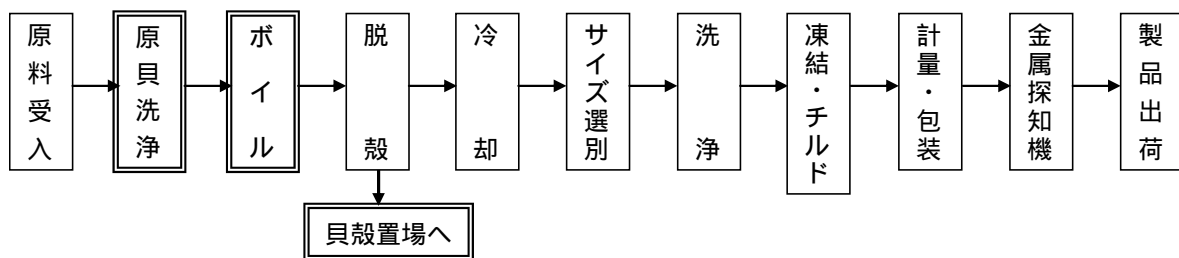


図 2-1 冷凍ホタテの製造加工フロー

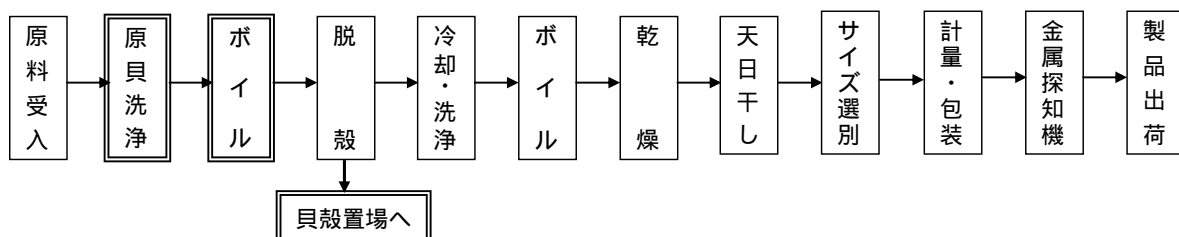


図 2-2 干貝柱の製造加工フロー



写真 2-1 ホタテ貝殻置場の状況

2.2 破碎と粒度

シェルサンドは、粒度分布が JIS A 5005 に規定されるコンクリート用細骨材の標準粒度程度に破碎する必要がある。

【解説】

写真 2-2 は、付属資料 - 1 に示す回転式破碎方法によるホタテ貝殻の破碎状況である。破碎物の粒度分布と、これを 25%、および 50% 置換した細骨材の合成粒度分布例を図 2-3 に示す。この方法では 2~5mm の粒径のものが多く、それ単体では標準粒度を満足しないが、これを天然骨材の 25%、および 50% 置換した合成粒度はコンクリート用細骨材の標準粒度の範囲に入る。

破碎されたホタテ貝殻の粒度分布が標準粒度の範囲を大きく外れた場合には、天然骨材との置換率を小さくしないと混合後の粒度分布が標準粒度の範囲内とならない可能性が高い。また、破碎が不十分で大きな貝殻が多く含まれる場合は、フレッシュコンクリートのワーカビリティを低下させるほか、生コン工場の骨材ピンの閉塞を生じるおそれがある。逆に、微粒子が必要以上に多い場合には、コンクリート中の総粉体量が増加して粘性が増加する。



写真 2-2 ホタテ貝殻の破碎状況

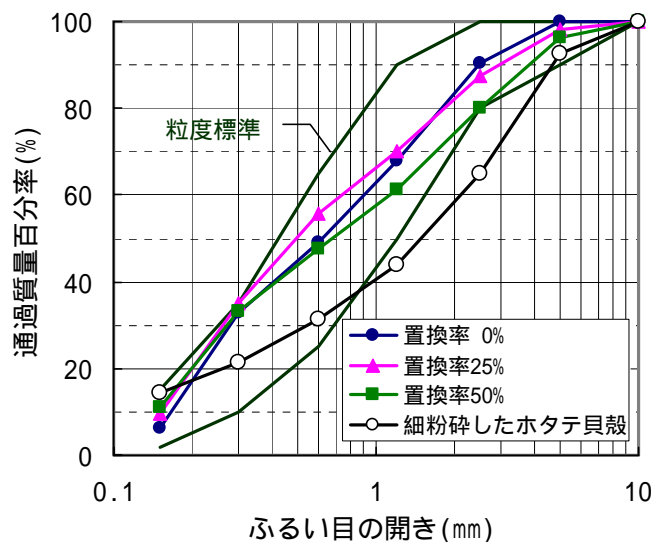


図 2-3 シェルサンドの粒度分布および置換後の合成粒度分布

第3章 シェルサンドの性質

3.1 要求品質

シェルコンクリートの製造に使用するシェルサンドは、品質のばらつきが少なく、JIS A 5308 の附属書 1 「レディーミクストコンクリート用骨材」の品質規定を満足するものでなくてはならない。なお、シェルサンドの微粒分は石灰石微粉末と同様の混和材とみなして、微粒分量の規定の適用を除外する。

【解説】

シェルコンクリートの製造に使用するシェルサンドの品質がばらつくと、シェルコンクリートの品質特性もばらつくおそれがある。このため、シェルコンクリートの製造に使用するシェルサンドも品質のばらつきが少ないものを使用することが望ましい。そこで、シェルサンドの品質管理上の基準値は表 3-1 に示す JIS A 5308 の附属書 1 「レディーミクストコンクリート用骨材」に定められた数値とする。

表 3-1 JIS A 5308 の附属書 1 における砂の品質

項目	規定値	適用試験箇条
絶乾密度 g/cm^3	2.5 以上 ⁽³⁾	JIS A 1109
吸水率 %	3.5 以下 ⁽⁴⁾	JIS A 1109
粘土塊量 %	1.0 以下	JIS A 1137
微粒分量 %	砂	3.0 以下 ⁽⁵⁾
	砕砂(JIS A 5005)	7.0 以下
有機不純物	標準色液又は色見本より淡い ⁽⁶⁾	JIS A 1105
石炭・亜炭などで密度 1.95g/cm^3 の液体に浮くもの ⁽¹⁾	0.5 以下 ⁽⁷⁾	JIS A 1141
塩化物量 (NaCl として) %	0.04 以下 ⁽⁸⁾	JIS A 5002 の 5.5
安定性 % ^{(1)・(2)}	10 以下	JIS A 1121

注 (1)購入者の指示に従い適用する。

(2)JIS A 1121 の試験操作を 5 回繰り返す。

(3)購入者の承認を得て、2.4 以上とすることができる。

(4)購入者の承認を得て、4.0 以下とすることができる。

(5)コンクリートの表面がすり減り作用を受けない場合は、5.0 以下とする。

(6)試験溶液の色合いが標準色より濃い場合でも、JIS A 1142 に規定する圧縮強度百分率が 90% 以上であれば、購入者の承認を得て用いてよい。

(7)コンクリートの外観が特に重要でない場合は、1.0 以下とすることができる。

(8)0.04 を超えるものについては、購入者の承認を必要とする。ただし、その限度は 0.1 とする。プレテンションプレストレストコンクリート部材に用いる場合は、0.02 以下とし購入者の承認があれば 0.03 以下とすることができる。

(JIS A 5308 の附属書 1 表 3 を一部加筆修正)

なお、コンクリート用砕砂の微粒分量は通常の砂が 3% 以下であるのに対して、7% 以下と大きな値が規定されている。これは、砕砂の微粒分である石粉の比表面積がブレーン値で 1,500 ~

8,000cm²/g 程度の範囲にある粒子であり、コンクリートの単位水量を増加させる要因ではあるが、材料分離を減少させる効果もある¹⁾ことからである。

付属資料 - 1 に示すように、ホタテ貝殻の主成分は炭酸カルシウムであり、結晶構造の違いによる分類では、コンクリート用石灰石微粉末と同じカルサイトである。シェルコンクリートに関する既往の研究²⁾において、シェルサンド中の微粒分による強度への悪影響がないことも報告されており、シェルサンドの微粒分は石灰石微粉末と同様の混和材³⁾とみなして、細骨材としての微粒分量の規定の適用を除外する。

なお、コンクリート用石灰石微粉末を細骨材の一部に置換した場合には、乾燥収縮量は変化しないか低減される⁴⁾と報告されており、また、付属資料 - 2 に示すように、シェルサンド中の微粒分そのものが乾燥収縮量に与える影響は認められていない。

3.2 有害物含有量の限度

- (1) シェルサンドの塩化物量(NaCl として)の最大値は、混合後の細骨材の絶乾質量にする百分率で 0.04% を最大値とする。
- (2) シェルサンドの有機不純物は JIS A 1105 によって試験を行い、基準を満足することを確認する。

【解説】

(1)について

一般に海砂や、海砂混合砂を使用する場合、コンクリート中の塩化物量の殆どが細骨材から供給され、鉄筋コンクリート構造物においては鋼材保護のための塩化物イオン量の許容限度 0.30kg/m³ を超える可能性がある。このため、表 3-1 に示した JIS A 5308 の附属書 1 では、塩化物量の最大値を細骨材の絶乾質量に対する百分率で 0.04%(NaCl 換算値)と規定している。また、骨材を混合して使用する場合、塩化物量は混合後に表 3-1 の値を満足することとしている。

なお、実際のシェルサンドの塩化物量は、付属資料 - 1 に示すように、原材料として使用したホタテ貝殻が加工処理直後(0ヶ月)の場合で 0.011%、また、加工処理後に 6ヶ月以上野積み状態にあった場合で 0.004% であり、規定値よりも 1桁小さい値である^{2),5)}。

(2)について

ホタテ貝殻の内側、および表面にホタテの残渣が付着していると、強度発現等に悪影響を及ぼす可能性がある。このため、本ガイドライン(案)では通常の天然骨材と同様に JIS A 1105 によって試験を行い、シェルサンドの上部における溶液の色合いが、標準色より薄くなることを確認して使用することとした。

なお、これまで製造されたシェルサンドでは有機不純物に対する試験結果が問題となったことはなく、塩化物量と同様に、ホタテの加工工程が有機不純物の含有量を少なくしているものと考えられる。

第4章 シェルコンクリートの製造方法

4.1 特性値, および配合条件

性能照査において必要なコンクリート強度の特性値, および耐久性を考慮したシェルコンクリートの配合条件は, 「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に基づいて定める。

【解説】

「港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成19年)」では, 港湾の施設の主構造物の性能照査における普通コンクリートのコンクリート強度の特性値の標準値として表4-1を与え, 鉄筋コンクリートで, 耐久性を考慮して, 普通コンクリートの配合条件として最大水セメント比を50%以下に設定する場合には, 圧縮強度の特性値として $30(\text{N}/\text{mm}^2)$ を, 無筋コンクリートの蓋コンクリートで, コンクリート打込み後の初期材齢で波浪の衝撃及び冠水のおそれがある場合や, 寒冷期に施工する場合等にあつては, 圧縮強度の特性値として $24(\text{N}/\text{mm}^2)$ 用いることができること, 35t型から50t型の大型異形ブロックでは, 圧縮強度の特性値を $21(\text{N}/\text{mm}^2)$ とする等, 状況に応じて特性値を設定できるとしている。⁶⁾

表4-1 普通コンクリートのコンクリート強度の特性値の標準値⁶⁾

コンクリートの種類	コンクリート強度の特性値
無筋コンクリート	圧縮 18 (N/mm^2)
鉄筋コンクリート	圧縮 24 (N/mm^2)
エプロン舗装用のコンクリート	曲げ 4.5 (N/mm^2)

また, コンクリートの配合条件については, 港湾における既往のコンクリート構造物の調査結果, 海水の作用を受けるコンクリートの耐久性に関する研究成果や知見に基づいて, コンクリートの種類, および構造部材の種類別に表4-2を与えている。

表 4-2 構造部材別のコンクリート配合条件の参考表⁶⁾

種類	構造部材の種類別	配合条件		
		最大水セメント比(%)		粗骨材の最大寸法(mm)
		凍結融解がしばしば繰返される地域	氷点下の気温となることがまれな地域	
無筋コンクリート	防波堤上部工, 蓋コンクリート, 本体ブロック, 異形ブロック(消波・被覆), 根固めブロック, 袋詰めコンクリート	65	65	40
	係船岸上部工, 胸壁, 係船直柱基礎(重力式)	60		
鉄筋コンクリート	係船柱基礎(杭式), 胸壁, 係船岸上部工 ^{*1)}	60	65	20, 25, 40
	栈橋上部工	-	-	-
	ケーソン, ウエル, セルラーブロック, L型ブロック	50	50	20, 25, 40
	消波ブロック	55	55	20, 25, 40
	控壁, 控杭上部工	60	60	20, 25, 40
エプロン舗装		-	-	25(20) ^{*2)} , 40

*1)栈橋上部工は除く。 *2)砂利の場合 25mm, 砕石の場合 20mm とする。

4.2 シェルサンド置換率

シェルサンド置換率の上限値は 50%として,フレッシュコンクリート,および硬化コンクリートについて,所要の品質が確保されることを確認してこれを定める。

【解 説】

シェルサンド置換率 100%の場合においては,スランプ試験時の突き棒がやや突き難い状態になるなど,コンクリートのワーカビリティが低下することが報告されている⁷⁾。一方,シェルサンド置換率 25%,および 50%の場合では,付属資料 - 4 に示すように,ケーソン根固ブロックやケーソン模擬供試体への適用実績では,通常のコンクリートと遜色のない施工結果が報告されている^{5),8)}。

このため,本ガイドライン(案)では,施工性を重視して,シェルサンド置換率は 50%を上限値とした。なお,付属資料 - 2 に示すように,シェルサンド置換率の増加に伴い,同一スランプを得るための単位水量は多くなる傾向にあるため,単位水量の増加に留意した適切な配合選定を行う必要がある。

4.3 単位水量

シェルコンクリートの単位水量は、作業に適するワーカビリティーの範囲内で、できるだけ少なくなるように定めなければならない。

【解説】

同一スランプを得るための単位水量は、混合する天然骨材の種別、産地、粒度および使用する混和剤の種類等によっても影響を受けるため、シェルコンクリートの配合設計においては、事前に試験練りを行い、単位水量ができるだけ少なくなるように適切な配合を選定する必要がある。

4.4 空気量

シェルコンクリートの空気量は、所要の強度、耐久性、水密性、ひび割れ抵抗性、およびワーカビリティーを満足する範囲内で、適切に定めなければならない。

【解説】

付属資料 - 2 に示すように、一般に、シェルサンド置換率を増加させると空気量も増加する傾向がある。このため、所定の範囲の空気量を得るためには、使用する AE 剤の種類、および添加率等を確認する必要がある。

4.5 プラントでの製造

生コンプラントでシェルコンクリートを製造する場合、以下の点に留意する必要がある。

- (1) 使用するシェルサンドは、骨材ビン内に保管することが望ましい。
- (2) 材料のミキサへの投入順序、および練混ぜ時間はあらかじめ適切に定めておかなければならない。

【解説】

(1)について

シェルサンドは適当な含水比状態に保ち、適切な構造の貯蔵設備に貯蔵することが望ましい。屋外の骨材ヤードで保管する場合はシート等で全体を覆い、ごみや雑物、および植物の種等が混入しないよう適切に管理しなければならない。

(2)について

シェルサンドと天然骨材とを混合使用する際の投入順序が、製造されたシェルコンクリートに及ぼす影響はほとんどないが、材料の投入順序、および練混ぜ時間は通常のコンクリートと同様にあらかじめ試験練りを行い、適切に定める必要がある。

なお、シェルサンドの計量は通常のコンクリートの製造の場合と同様に、土木学会コンクリート標準示方書「施工編」(2007年制定)に定める所定の精度で行う。

4.6 コンクリートミキサー船での製造

コンクリートミキサー船でシェルコンクリートを製造する場合，以下の点に留意する必要がある．

- (1) シェルサンド用の骨材ビンを用意できない場合は，あらかじめ陸上の施設において天然骨材と所定の置換比率で混合し，ミキサー船の骨材ビン内に保管する．
- (2) シェルサンド，あるいはシェルサンドを混合した細骨材は，所定のコンクリートの品質が得られるような計量精度が保たれていなければならない．
- (3) 材料の練混ぜ時間は，あらかじめ適切に定めておかなければならない．

【解説】

(1)について

ケーソン蓋コンクリート等へシェルコンクリートを適用する場合，シェルコンクリートの製造ではコンクリートミキサー船を使用することになる．一般にコンクリートミキサー船に装備された骨材ビンは細骨材用，および粗骨材用のそれぞれ1基ずつである．このため，別途シェルサンド用の骨材ビンを用意できない場合は，事前に陸上の混合設備で所要の置換比率で天然骨材と混合しておき，シェルサンド混合細骨材としてコンクリートミキサー船の骨材ビンで保管する必要がある．

(2)について

コンクリートミキサー船における練り混ぜ設備は連続ミキサが装備されている．連続ミキサの材料は容積計量により各材料の供給量が調整される．一般に容積計量は質量計量に比べて計量誤差が大きい．従って，あらかじめキャリブレーション等を行い，シェルサンド，あるいはシェルサンドを混合した細骨材の計量が所定の精度で行われていることを確認する必要がある．

(3)について

シェルサンド，あるいはシェルサンドを混合した細骨材を用いたシェルコンクリートの練混ぜ時間は，あらかじめ試験練り等を行い，適切に定めておく必要がある．



写真 4-1 コンクリートミキサー船

4.7 仕上げ

シェルコンクリートの仕上げは、ブリーディング、および凝結の状況を考慮して行う。

【解説】

一般にコンクリートはブリーディング水が消失するころに、表面の急激な乾燥による収縮、その他の外力などによってひび割れが生じやすくなる。このため、コンクリートの表面仕上げはコンクリートのブリーディング、および凝結の状況を考慮して適切な時期に行わなければならない。

付属資料 - 2 に示すように、シェルサンド置換率を増加させると同一スランプを得るための単位水量が増加し、この結果、ブリーディング量が増加して凝結時間は幾分遅れる傾向がある。このため、シェルコンクリートの仕上げはこれらを考慮して適切な時期に行わなければならない。

4.8 養生・脱型

シェルコンクリートの型枠脱型は、適切な時期に行う。また、型枠の取り外しまでの期間は適切な方法によって養生を行う。

【解説】

付属資料 2 に示すように、単位水量を同一にしてシェルコンクリートを製造した場合は、シェルコンクリートの凝結時間も通常のコンクリートと同様となるが、シェルサンド置換率の増加に伴い単位水量を増加させて所要のスランプを得た場合、シェルコンクリートの凝結時間は幾分遅れる傾向にある。

しかしながら、シェルサンドの細骨材置換に伴う強度発現の遅れは材齢のごく初期に限られ、適切な養生を行えば、型枠脱型時期も通常のコンクリートと同様と考えてよい。

第5章 シェルコンクリートの耐久性

製造時に適切な配合条件，およびコンクリート強度の特性値を選定すれば，シェルコンクリートの耐久性は通常のコンクリートと同程度である．

【解説】

付属資料 2 に示すように，シェルコンクリートの長期強度の変化は通常の骨材を用いたコンクリートと同様であること，また，凍結融解抵抗性や塩分浸透性などについても同程度の耐久性があることが確認されている．

港湾構造物は 4.1 の表 4-1，および表 4-2 に示されたように，耐久性確保を目的として，配合条件，および強度の特性値が与えられており，シェルコンクリートの耐久性も同表に従って，配合条件，および強度の特性値を定めることにより確保される．

第6章 港湾構造物での適用性

港湾構造物にシェルコンクリートの適用を検討する場合には、以下の点に留意して計画する必要がある。

- (1) シェルサンドの製造場所とシェルコンクリートの製造場所との距離、および運搬費を確認し、大幅なコストアップにならぬよう注意する。
- (2) あらかじめ、使用する生コン工場等で試験練り等を行い、混合する細骨材、使用セメント、および使用する混和剤等による影響、相性について十分検討する。

【解説】

(1)について

シェルサンドの製造場所とシェルコンクリートの打設場所とが遠く離れている場合、シェルサンドの運搬費が高くなり、大幅なコストアップを招くおそれがある。同様の産業副産物である石炭灰では、陸上輸送においては発電所から 50km 圏内の輸送単価に比べ、150km 以上離れると高い輸送コストが必要となるとの報告⁹⁾もあるので、シェルコンクリートの製造場所についてもシェルサンドの製造場所からの距離が概ね 50km 以内であることが望ましい。

(2)について

シェルコンクリートの配合条件、および基本性質はシェルサンドと混合する細骨材の種類、使用セメントの種別、および銘柄、使用するコンクリート用混和剤の種類等によって影響を受ける。このため、シェルコンクリートを製造する生コン工場やコンクリートミキサー船を選定したら、速やかに試験練りを実施して適切な配合条件を選定する必要がある。

第7章 関係法規との関連について

7.1 関連法規類

シェルサンドの製造に使用するホタテ貝殻が産業廃棄物として取り扱われる場合があるので、これに係る法規類を遵守してシェルサンド、シェルコンクリートを製造しなければならない。

【解説】

建設工事においてリサイクル資材を利用する場合に関連する法規類としては、表 7-1 に示すものがある。このうち「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」(以下、廃棄物処理法と記す)については、シェルサンドの原材料であるホタテ貝殻が産業廃棄物として取り扱われる場合があるので、留意して製造する必要がある。

表 7-1 関連法規類

法律名称	関連・留意事項	適用性
廃棄物の処理及び清掃に関する法律 (廃棄物処理法)	ホタテ貝殻の位置づけ、および取り扱い形態	適用を受ける
建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律 (建設リサイクル法)	リサイクル適用工事の位置づけ	適用を受けない
国等による環境物品等に調達の推進等に関する法律 (グリーン調達法)	リサイクル資材の適用 県リサイクル資材等への申請	適用を受けない

7.2 廃棄物処理法上の留意点

シェルサンドは、ホタテ貝殻の取引形態に注意して製造する。

【解説】

シェルサンドの製造では、表 7-2 に示すように原材料のホタテ貝殻の取引形態によって廃棄物処理法における取り扱いが異なる。従って、シェルサンド製造時にはホタテ貝殻の取引形態に応じて、法律が遵守されていることを確認する必要がある。

表 7-2 ホタテ貝殻の取引形態と廃棄物処理法との関係

取引形態	自ら利用	有償売却	産廃処分
概要	ホタテ貝の加工会社が自ら貝殻を破碎して、シェルサンドを製造し、製品として生コン工場他へ販売する。	シェルサンドの製造者がホタテ貝殻処理組合からシェルサンドの材料として有償で購入し、シェルサンドを製造後、生コン工場等へ販売する。	ホタテ貝殻処理組合がシェルサンドの製造者に処分費を支払い、ホタテ貝殻の処分を依頼する。シェルサンド製造者は廃棄物中間処理業としてホタテ貝殻を破碎し再資源化し、生コン工場等へ販売する。
シェルサンド製造業の位置付け	材料販売業 骨材製造業	骨材製造業	廃棄物中間処理業
廃棄物処理法	適用外（有価物）	適用外（有価物）	適用（不要物）
留意点	ホタテ貝殻が有償で売却できる性状のものを自ら使用することでなければ該当しない。なお、有償売却できる性状のものとは利用用途に照らして有価物に相当する品質を有するものをいう。	販売価格が社会通念上、逆有償と見なされない値段に設定されている必要がある。	シェルサンドの製造業者が廃棄物中間処理業の資格を有していることを確認する必要がある。

注)「不要物」とは、自ら利用し、または他人に有償で譲渡することができないため事業者にとって不要になった物をいい、これに該当するか否かは、その物の性状、排出の状況、通常の見取扱い形態、取引価値の有無、および事業者の意思等を総合的に勘案して決するのが相当であるとされている。また、事業者の意思とは、客観的要素から見て社会通念上合理的に認定しようという意思である。

《 参考文献 》

- 1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書「施工編」(2002年制定)，p.66，2002.03
- 2) 山内匡，清宮理，横田季彦，八木展彦：ホタテ貝殻を細骨材として活用したコンクリートの基本的性質，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，2006.07
- 3) (社)土木学会：コンクリート標準示方書「施工編」(2007年制定)，p.55，2007.12
- 4) (社)日本コンクリート工学協会 石灰石微粉末研究委員会：石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム 委員会報告書，p.60，1998.05
- 5) 山内匡，清宮理，横田季彦，若崎正光：ホタテ貝殻を細骨材として活用したコンクリートによるケーソン根固めブロックの製作，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.2，2007.07
- 6) (社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，p.446-447，2007.07
- 7) 若崎正光，清宮理，山路徹，審良善和，山内匡：貝殻のコンクリート用細骨材への適用に関する研究，土木技術，2007.07
- 8) 山内匡，清宮理，高橋久雄，山路徹：ホタテ貝殻を細骨材として活用したコンクリートの耐久性および実証試験，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.2，2008.07
- 9) (社)土木学会 エネルギー土木委員会 新技術・エネルギー小委員会 石炭灰有効利用分科会：石炭灰有効利用技術について 報告書，p.82，2003.09

付 属 資 料

目次

付属資料-1 シェルサンドの性質

1.1 主成分	付1 - 1
1.2 形状	付1 - 1
1.3 密度および吸水率	付1 - 2
1.4 塩化物量	付1 - 3
1.5 破碎方法	付1 - 4

付属資料-2 シェルコンクリートの性質

2.1 フレッシュコンクリートの性質	付2 - 1
2.1.1 スランプおよび空気量	付2 - 1
2.1.2 経時変化	付2 - 2
2.1.3 ブリーディング	付2 - 4
2.1.4 凝結特性	付2 - 5
2.2 硬化コンクリートの性質	付2 - 7
2.2.1 圧縮強度	付2 - 7
2.2.2 引張強度および曲げ強度	付2 - 11
2.2.3 付着強度	付2 - 11
2.2.4 打継ぎ強度	付2 - 12
2.2.5 静弾性係数	付2 - 12
2.2.6 ポアソン比	付2 - 13
2.2.7 乾燥収縮	付2 - 13
2.2.8 熱膨張係数	付2 - 15
2.2.9 鉄筋コンクリートはり部材の曲げ耐力	付2 - 16
2.2.10 鉄筋コンクリートはり部材のせん断耐力	付2 - 17
2.3 耐久性	付2 - 18
2.3.1 凍結融解抵抗性	付2 - 18
2.3.2 塩分浸透性	付2 - 19
2.3.3 中性化	付2 - 20
2.3.4 水密性	付2 - 20
2.3.5 長期強度	付2 - 21

付属資料-3 シェルコンクリートの配合設計

3.1 配合設計フロー	付3 - 1
-------------	--------

3.2 シェルコンクリートの配合例	付3 - 2
3.2.1 配合条件および使用材料	付3 - 2
3.2.2 コンクリート配合	付3 - 3
3.3 シェルコンクリートの各種配合試験結果 (W/C=50%)	付3 - 4
3.3.1 シェルコンクリートの単位水量とスランプとの関係	付3 - 4
3.3.2 シェルコンクリートの細骨材率とスランプとの関係	付3 - 4
3.3.3 シェルコンクリートの AE 減水剤量とスランプとの関係	付3 - 5

付属資料-4 シェルコンクリートの適用実績

4.1 ケーソン根固ブロックへの適用	付4 - 1
4.1.1 適用工事の概要	付4 - 1
4.1.2 根固ブロックの概要	付4 - 1
4.1.3 使用材料および配合	付4 - 2
4.1.4 適用結果	付4 - 3
4.2 ケーソン蓋コンクリートへの適用	付4 - 6
4.2.1 適用工事の概要	付4 - 6
4.2.2 ケーソン蓋コンクリートの概要	付4 - 6
4.2.3 使用材料および配合	付4 - 7
4.2.4 適用結果	付4 - 8
4.3 ケーソン模擬供試体の製作	付4 - 9
4.3.1 適用工事の概要	付4 - 9
4.3.2 ケーソン模擬供試体の概要	付4 - 9
4.3.3 使用材料および配合	付4 - 12
4.3.4 適用結果	付4 - 13

参考資料

1. ホタテ貝の生産量	参 - 1
1.1 全国生産量	参 - 1
1.2 青森県のホタテ実績	参 - 2
2. 「廃棄物の処理および清掃に関する法律」における有効利用方法	参 - 3
3. シェルコンクリートの特許	参 - 3

付属資料 1 シェルサンドの性質

1.1 主成分

シェルサンドの原材料であるホタテ貝殻の主成分は、アルカリ骨材反応の心配の無い、炭酸カルシウムである。なお、炭酸カルシウムは結晶構造の違いによりカルサイト、アラゴナイト、およびバテライトに分類される。破碎されたホタテ貝殻は、コンクリート用石灰石微粉末の主成分と同じく、カルサイトである。

表 1-1 炭酸カルシウムの分類

	カルサイト	アラゴナイト	バテライト
結晶構造	三方晶	斜方晶	六方晶
きれいに結晶化した鉱物名	方解石	あられ石	自然にはほとんど存在しない
硬度	3	3.5～4	3
屈折率	1.49～1.69	1.53～1.69	1.56～1.66
比重	2.7	2.9	2.5～2.6

1.2 形状

破碎されたシェルサンドの形状は扁平な薄片や棒状となる（写真 1-2）。破片のアスペクト比（縦横比）は 0.8～2.0 の範囲にあり、平均的には 1.2 程度である。



写真 1-1 シェルサンド

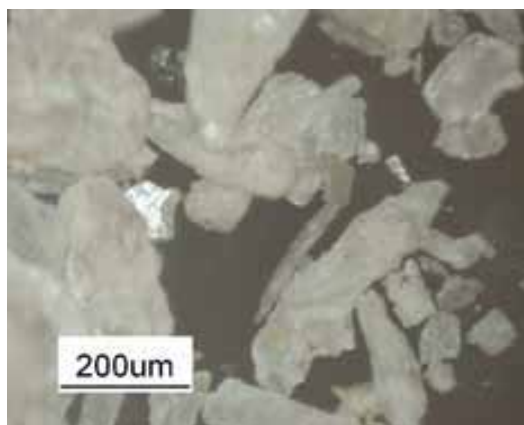


写真 1-2 シェルサンドの顕微鏡写真

1.3 密度および吸水率

一般の天然骨材においては粒度が同程度であれば、絶乾密度が小さく、吸水率が大きい細骨材は多孔質となり強度が小さくなる傾向にある。シェルサンドの場合も絶乾密度が小さく、吸水率が大きいものは多孔質で層状の部分破碎されずに多く残っていることを意味している。

図 1-1 はシェルサンドの絶乾密度と吸水率との関係を示したものである。同図に示すように、絶乾密度が大きくなると吸水率は小さくなる傾向にあり、一般的な骨材と同様である。絶乾密度は $2.54 \sim 2.61 \text{ g/cm}^3$ の範囲であり、吸水率は $0.9 \sim 2.1\%$ 程度で、JIS A 5308 の附属書 1「レディーミクストコンクリート用骨材」における砂の品質の規定値(絶乾密度: 2.5 g/cm^3 以上, 吸水率: 3.5% 以下)を満足しており、また、吸水率は JIS A 5005 の砕砂の規定値 3.0% 以下も満足している。

なお、絶乾密度および吸水率の試験は JIS A 1109 によるが、形状が扁平なシェルサンドでは、表面乾燥飽水状態(表乾状態)の判定が難しいことから、同様に表乾状態の判定が難しい再生細骨材 L を参考に、試験結果は 3 回の平均値とする。写真 1-3 にシェルサンドの湿潤状態および表乾状態を示す。

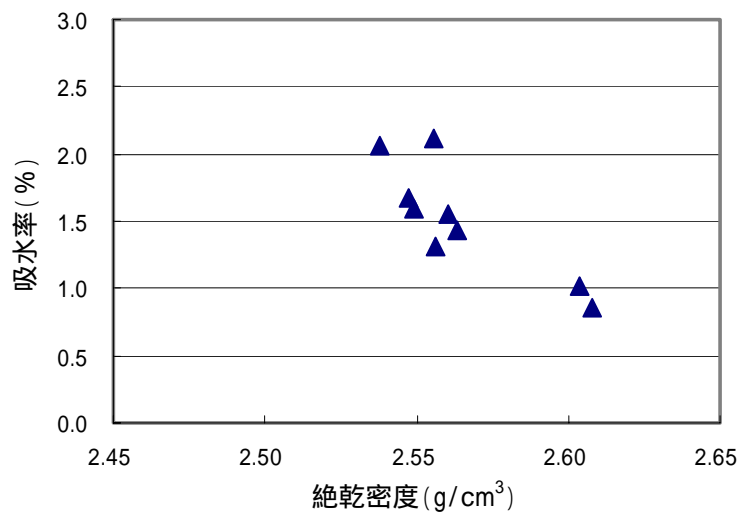


図 1-1 シェルサンドの絶乾密度と吸水率との関係



～湿潤状態～



～表乾状態～

写真 1-3 絶乾密度および吸水率試験 (JIS A 1109) 状況

1.4 塩化物量

シェルサンドの原材料であるホタテ貝殻は、ホタテの加工処理において原貝の洗浄、およびボイル加工処理を施した後に脱殻した貝殻としている。

図 1-2 はシェルサンドの塩化物量 (NaCl として) を、原材料としたホタテ貝殻の加工処理後の期間毎に示したものである。同図に示すように、加工処理直後 (0 ヶ月) のホタテ貝殻を原材料として使用した場合でも、シェルサンドの塩化物量は 0.011% であり、JIS A 5308 の附属書 1 「レディーミクストコンクリート用骨材」における砂の品質の規定値 0.04% を満足している。また、加工処理後に 6 ヶ月以上野積み状態にあったものでは、シェルサンドの塩化物量は 0.004% となっており、規定値よりも 1 桁小さい値である。

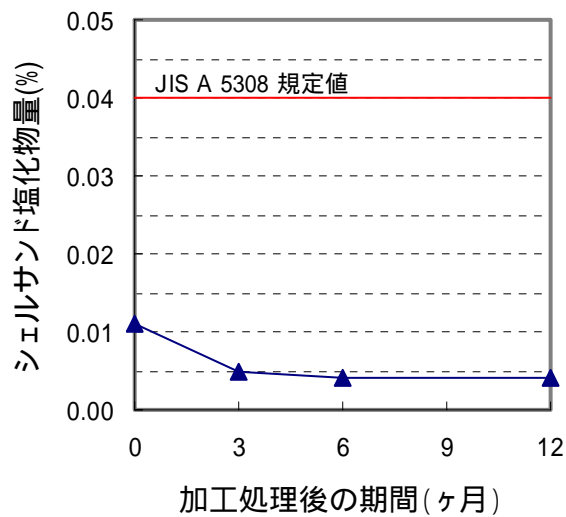


図 1-2 シェルサンドの塩化物量

1.5 破碎方法

従来、ホタテ貝殻の破碎はブルドーザ、およびマカダムローダー等の建設重機によるもの、砕石工場等で使用されているジョークラッシャーによるものが殆どであった。これらでホタテ貝殻を破碎した場合、破碎後の粒径は前者で数 cm から 10cm 程度、後者でも数 mm から 20mm の範囲であり、粒度調整のため別途ふるい分けが必要である。

これに対して、特許工法である回転式破碎方法は、コンクリート塊等の破碎に使用されている方法で、円筒内で高速回転するチェーン(ブレードバー)の打撃エネルギーでホタテ貝殻を破碎するもので、破碎後の粒径を 5mm 以下にすることができる。表 1-1 に各破碎方法を比較して示す。

表 1-2 ホタテ破碎方法の比較

	建設重機	ジョークラッシャー	回転式破碎方法
概要			
破碎方法	建設重機(ブルドーザ、マカダムローダー等)の重量車両をホタテ貝殻上を走行させて圧縮破碎する。	一端を支持した可動板(スイングジョー)を固定板に向けて前後揺動させることによって、固定板との間で貝殻を圧縮破碎する。	円筒内を高速回転するブレードの打撃エネルギーによって貝殻を破碎する。
破碎後の寸法	破碎後の寸法は数 cm から 10cm 程度。	破碎後の寸法は数mm から 20mm 程度。	95%以上を 5mm 以下にすることが可能。
粒度の調整	別途、ふるい分けが必要。	別途、ふるい分けが必要。	回転数を変化させることによって調整することが可能。
備考			特許工法

付属資料 2 シェルコンクリートの性質

2.1 フレッシュコンクリートの性質

2.1.1 スランプおよび空気量

図 2-1 は単位水量 (162kg/m^3) を一定にしてシェルサンド置換率を変化させたシェルコンクリート ($W/C=60\%$, 高炉セメント B 種使用) のスランプ値の一例である。シェルサンド置換率の増加とともにスランプは小さくなる。また, 図 2-2 は $W/C=50\%$ で高炉セメント B 種を使用した配合条件でシェルサンド置換率を変化させ, スランプ 12cm を満足させるための単位水量を示したものである。混合する天然骨材の種別, 産地, 粒度によっても異なるが, シェルサンド置換率の増加に伴い, 同一スランプを得るための単位水量は多くなる傾向がある。

シェルコンクリートの配合設計においては, 付属資料 - 3 に示す配合試験結果を参考に, 事前に試験練りを行い, 適切な配合を選定する必要がある。

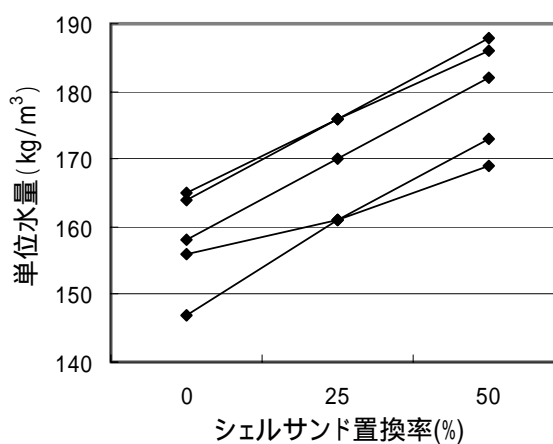
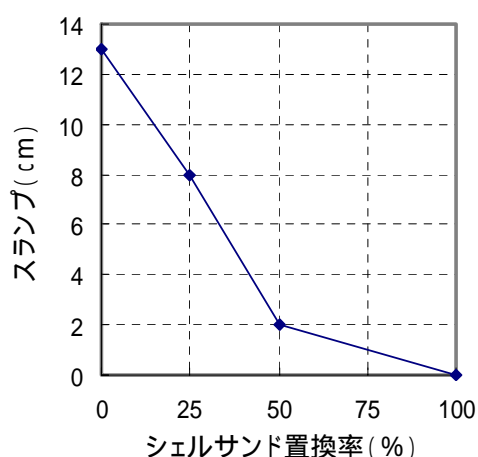


図 2-1 シェルサンド置換率とスランプとの関係 (単位水量一定) 図 2-2 シェルサンド置換率と単位水量との関係 (スランプ値一定)

図 2-3 は、空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ を得るための AE 剤の添加率を示した一例である。同図に示すように、シェルサンド置換率を増加させると、AE 剤を減少させる傾向があることから、所定の範囲の空気量を得るためには、使用する AE 剤の添加率を調整する必要がある。

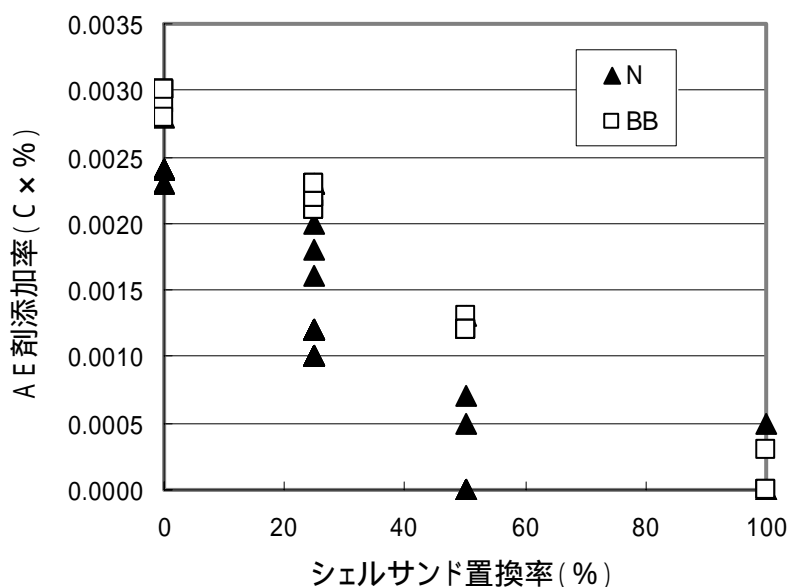


図 2-3 シェルサンド置換率と AE 剤添加率との関係

2.1.2 経時変化

図 2-4～図 2-6 は、付属資料-4, 4.1 に示すケーソン根固ブロックの製作時における、普通コンクリート(シェルサンド置換率 0%)とシェルサンド置換率 25%, 50%のシェルコンクリートのプラントから現場までの運搬時(運搬時間 20～30 分)におけるスランプ、および空気量の測定結果の一例を示したものである。

運搬時間の経過にともなうフレッシュコンクリートの性状の変化も、通常のコンクリートとほぼ同様であることが分かる。従って、プラントから現場までの運搬は、天然骨材を使用した通常のコンクリートと同様でよい。

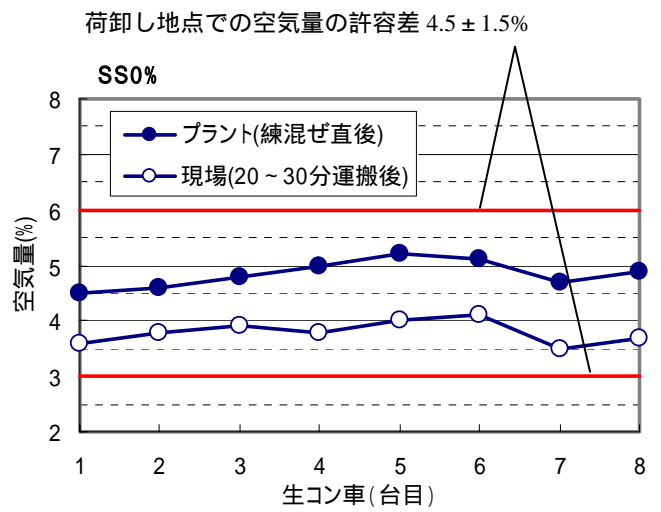
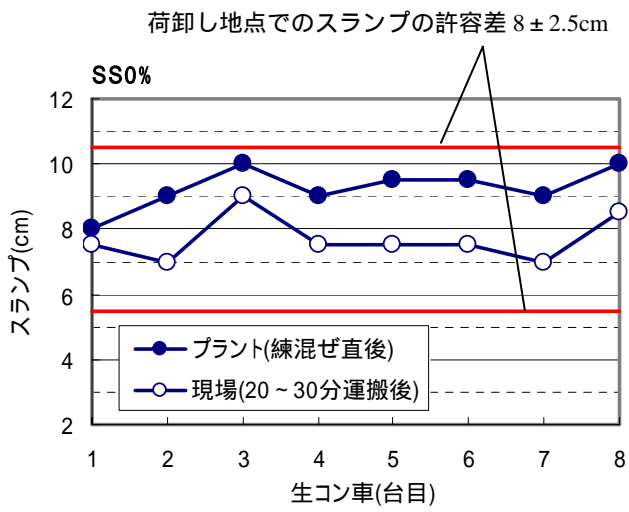


図 2-4 スランプ・空気量の経時変化(シェルサンド置換率 0%)

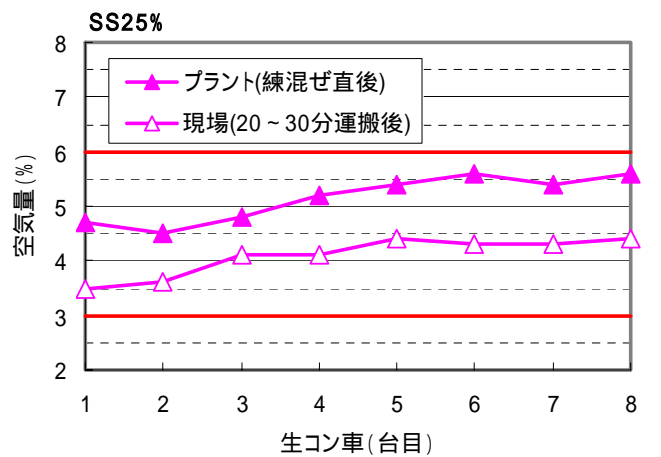
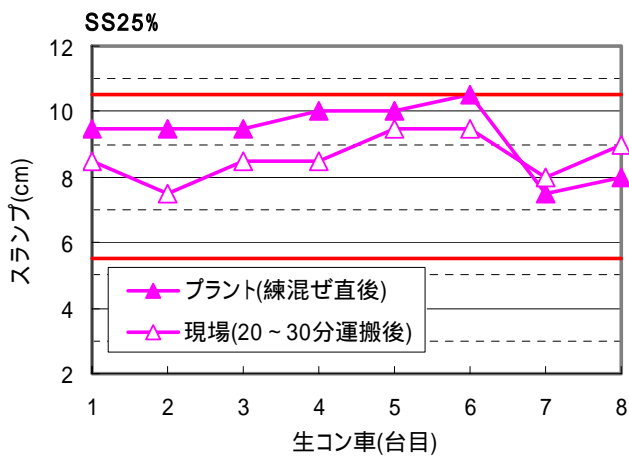


図 2-5 スランプ・空気量の経時変化(シェルサンド置換率 25%)

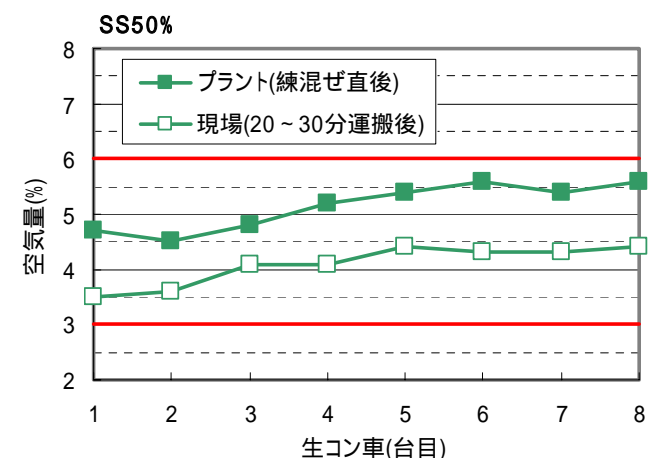
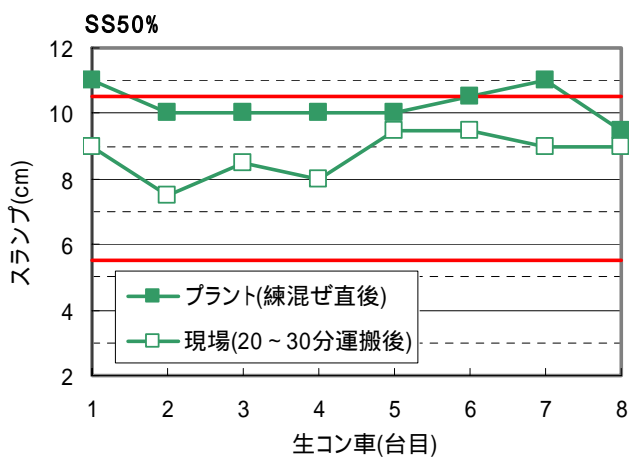


図 2-6 スランプ・空気量の経時変化(シェルサンド置換率 50%)

2.1.3 プリーディング

図 2-7 にシェルサンド置換率の増加に伴い、同一スランプを得るために単位水量を増加させた場合の、シェルコンクリートのプリーディング試験結果の一例を示す。同図に示すように、シェルコンクリートのプリーディング量は通常のコンクリートに比べて多くなる傾向がある。

また、図 2-8 は単位水量を一定にした場合の、シェルコンクリートのプリーディング試験結果の一例である。この場合には、逆にプリーディング量は小さくなる傾向がある。

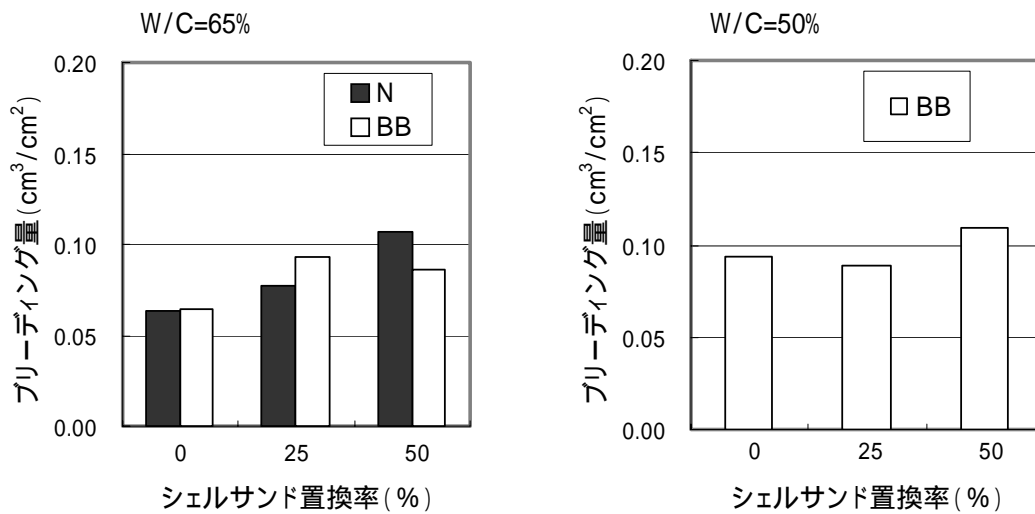


図 2-7 シェルサンド置換率とプリーディング量との関係
(スランブ一定)

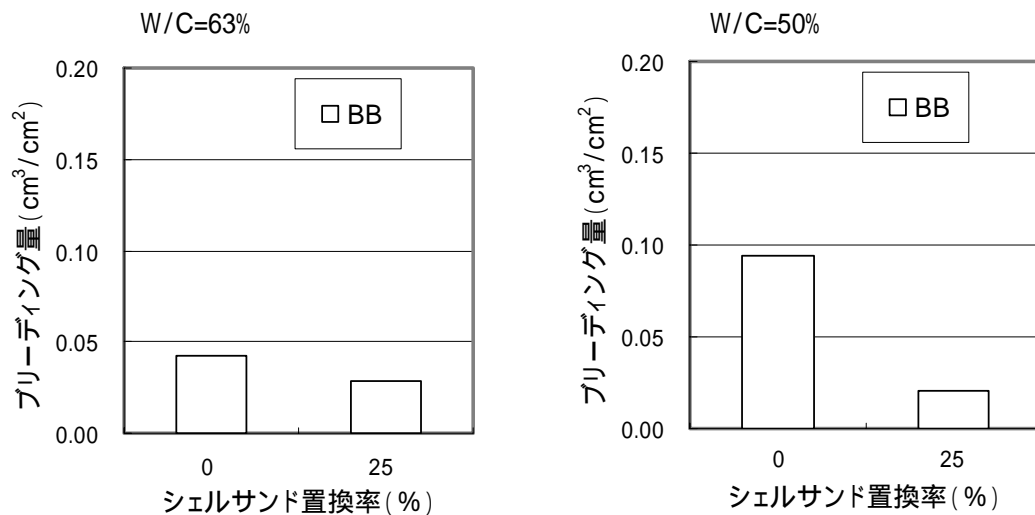


図 2-8 シェルサンド置換率とプリーディング量との関係
(単位水量一定)

2.1.4 凝結特性

図 2-9 はシェルサンド置換率の増加に伴い同一スランブを得るために単位水量を増加させた場合の、シェルコンクリートの凝結時間試験結果の一例である。シェルコンクリートの凝結時間は通常のコンクリートに比べて、遅くなる傾向にある。一方、単位水量を一定にしてシェルサンド置換率を増加させた場合の、シェルコンクリートの凝結時間試験結果の一例（図 2-10）では、凝結時間に大きな差は認められない。

なお、同配合条件のシェルコンクリート(図 2-11)においても、その傾向は同じである。

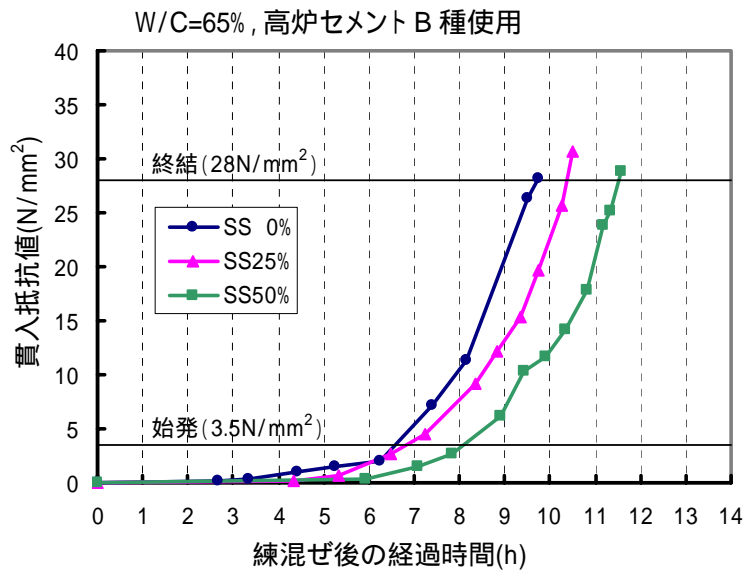


図 2-9 練混ぜ後の経過時間と貫入抵抗値との関係
(スランブ一定)

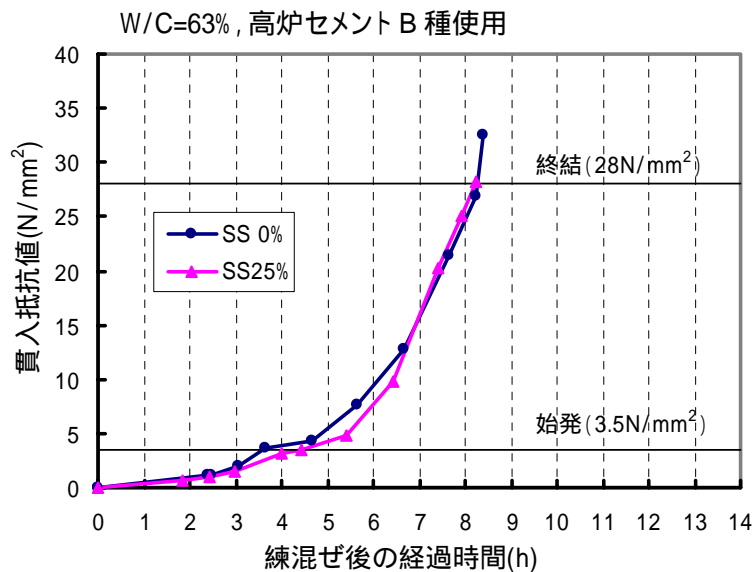


図 2-10 練混ぜ後の経過時間と貫入抵抗値との関係
(単位水量一定)

W/C=50%, 高炉セメントB種使用

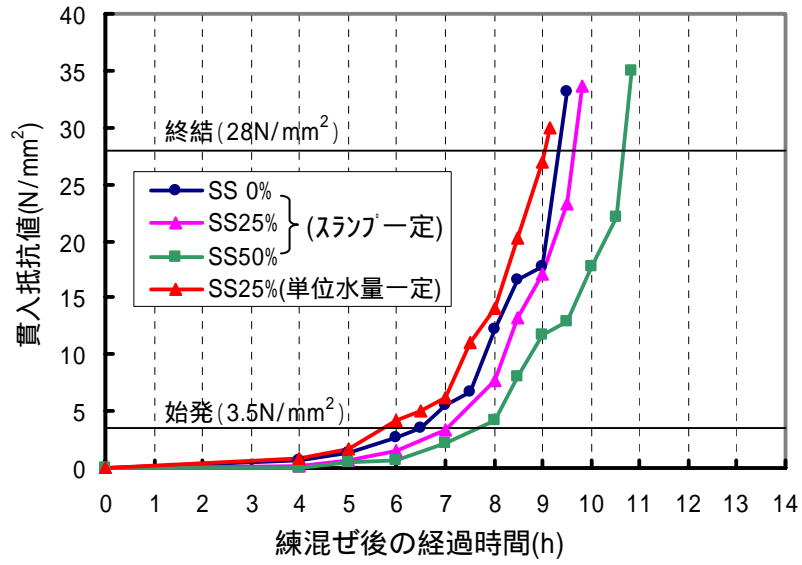


図 2-11 練混ぜ後の経過時間と貫入抵抗値との関係

2.2 硬化コンクリートの性質

硬化コンクリートの性質に関する試験結果として以下に示すシェルコンクリートの配合は、所要のスランプを得るために、同じ水セメント比で単位水量を増加させた場合のものである。

2.2.1 圧縮強度

図 2-12, および図 2-13 にシェルコンクリートの圧縮強度の発現状況を示す。これらの図に示されるように、 $W/C=65\%$ 、 50% のいずれの場合においても、通常のコンクリートと比べて、強度発現状況に大きな違いはみられない。

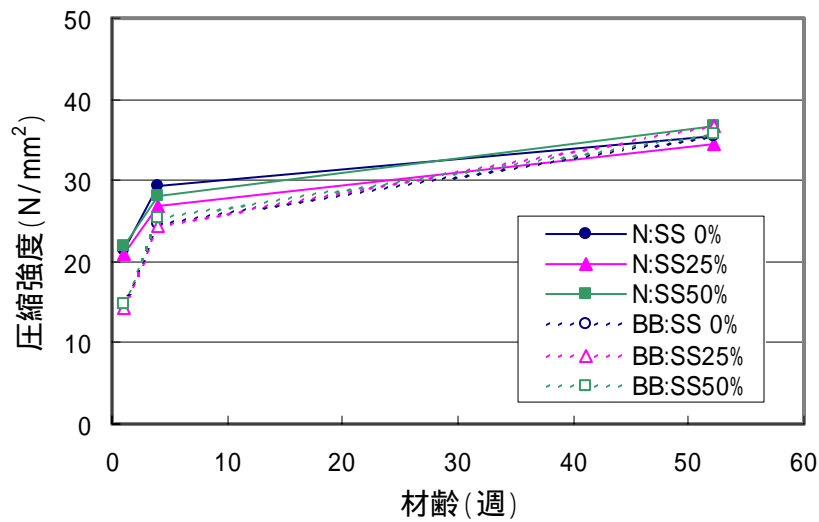


図 2-12 圧縮強度の発現状況 ($W/C=65\%$)

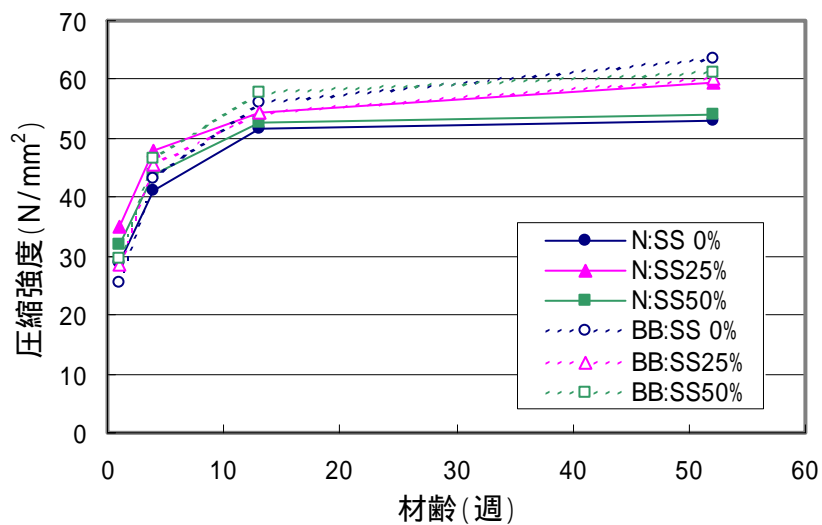


図 2-13 圧縮強度の発現状況 ($W/C=50\%$)

図 2-14 および図 2-15 に、W/C=60% (スランブ 8cm) で普通ポルトランドセメント、および高炉セメント B 種を使用した場合の 7 日強度、28 日強度とシェルサンド置換率との関係を示す。また、図 2-16 および図 2-17 には、W/C=50% で高炉セメント B 種を使用した、スランブ 12cm の場合とスランブを変化させた場合の 7 日強度、28 日強度とシェルサンド置換率との関係を示す。これらの図から判断すれば、シェルコンクリートの圧縮強度の変動は、配合条件に関わらず、通常のコンクリートと同程度である。

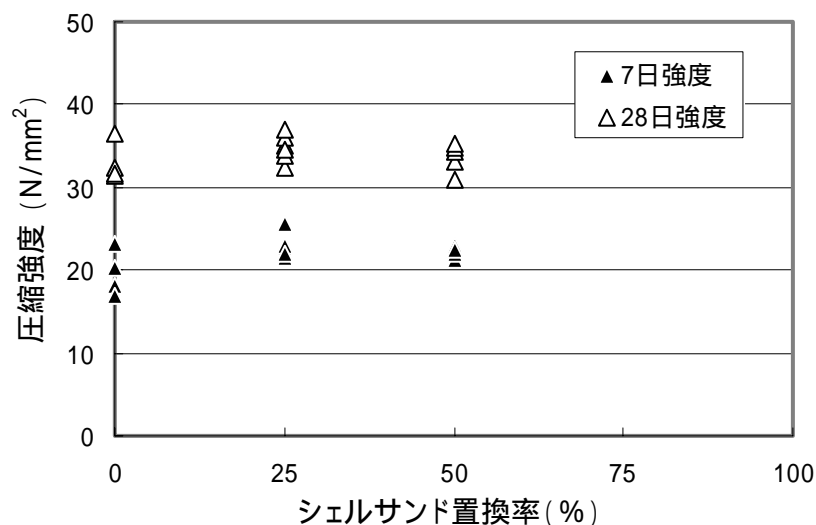


図 2-14 シェルサンド置換率と圧縮強度との関係
(W/C=60%; 普通ポルトランドセメント使用,スランブ 8cm)

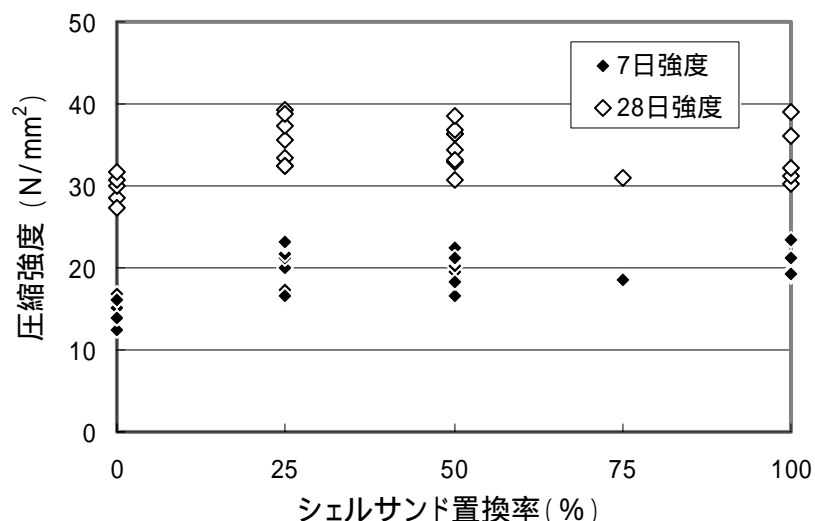


図 2-15 シェルサンド置換率と圧縮強度との関係
(W/C=60%; 高炉セメント B 種使用,スランブ 8cm)

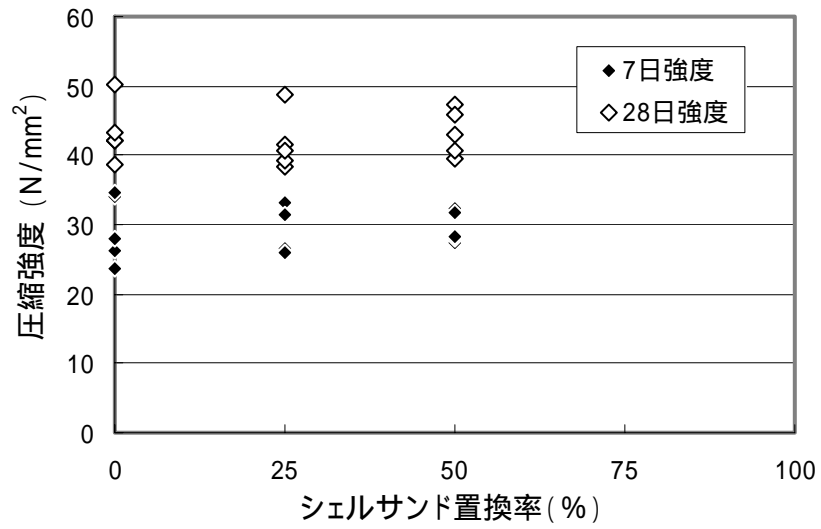


図 2-16 シェルサンド置換率と圧縮強度との関係
(W/C=50%; 高炉セメントB種使用,スランプ 12cm)

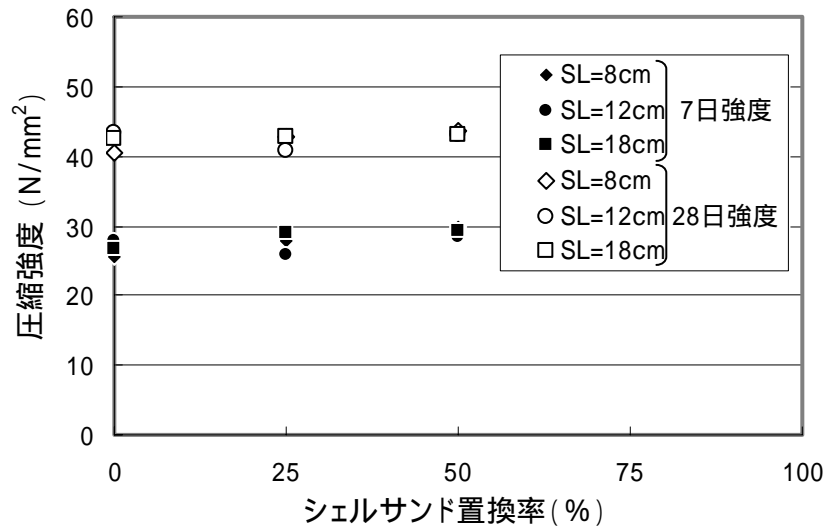


図 2-17 シェルサンド置換率と圧縮強度との関係
(W/C=50%; 高炉セメントB種使用)

図 2-18 および図 2-19 に、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を使用したシェルコンクリートのセメント水比と圧縮強度(28)との関係を示す。これらの図に示すようにシェルコンクリートも通常のコンクリートと同様にセメント水比によって圧縮強度を直線近似することができる。

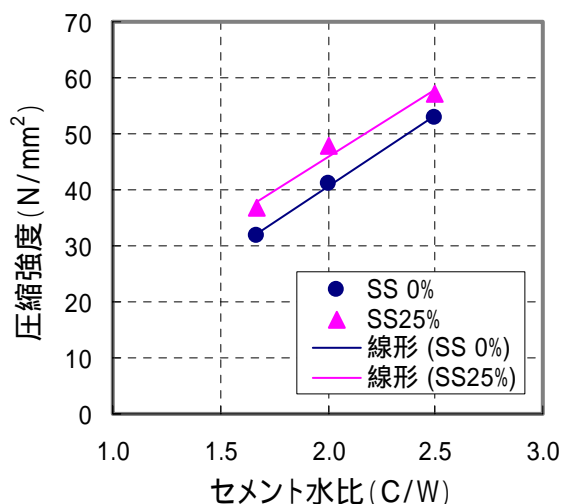


図 2-18 セメント水比と圧縮強度との関係
(普通ポルトランドセメント使用)

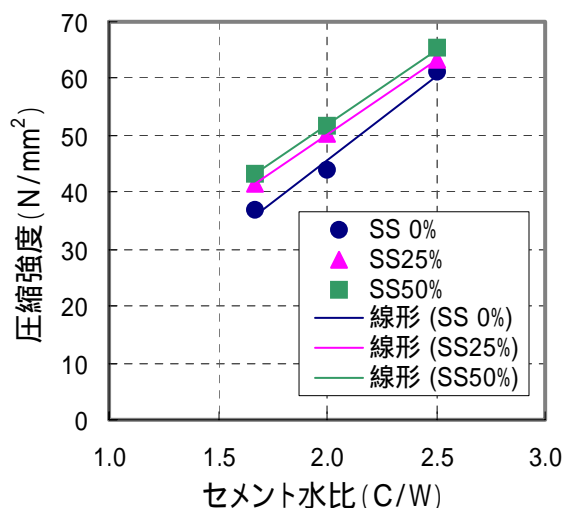


図 2-19 セメント水比と圧縮強度との関係
(高炉セメントB種使用)

図 2-20 は気中、および海中曝露した根固ブロックから採取したコア供試体の材齢 2 年までの圧縮強度を標準養生供試体の圧縮強度と併せて示したものである。同図に示すように、シェルコンクリートも普通コンクリートと同様に、気中、および海中曝露した根固ブロックから採取したコア供試体の圧縮強度は標準養生供試体の圧縮強度に比べて小さく、また、海中曝露したコンクリートの圧縮強度の方が気中曝露した場合よりも若干大きいことが分かる。シェルコンクリートの環境条件の違いによる影響は、通常のコンクリートと同様である。

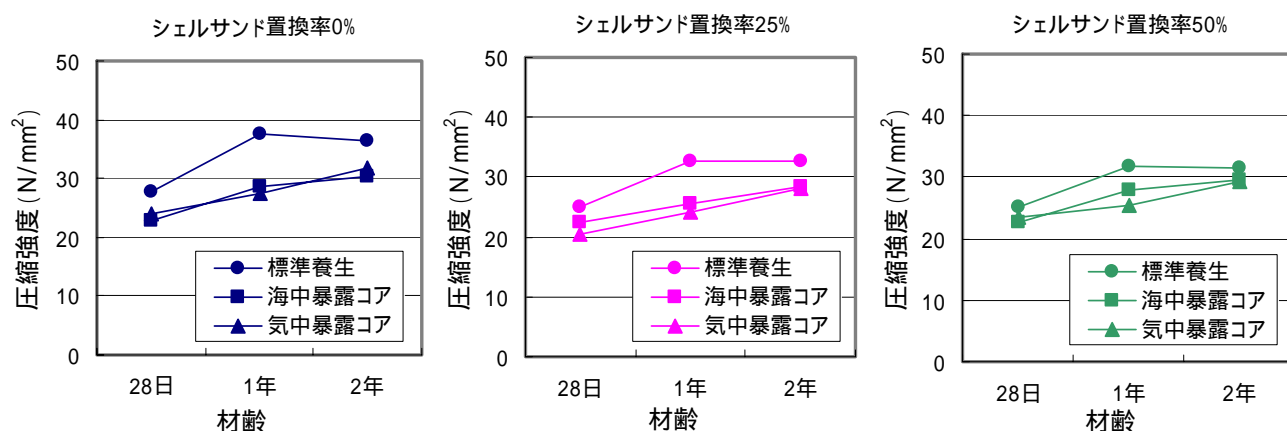


図 2-20 環境条件の違いによる影響
(W/C=65%, 普通ポルトランドセメント使用)

2.2.2 引張強度および曲げ強度

シェルコンクリート（普通ポルトランドセメント使用）の圧縮強度と引張（割裂）強度との関係を図 2-21 に，圧縮強度と曲げ強度との関係を図 2-22 に示す．いずれも通常のコンクリートと同等の強度特性を有している．

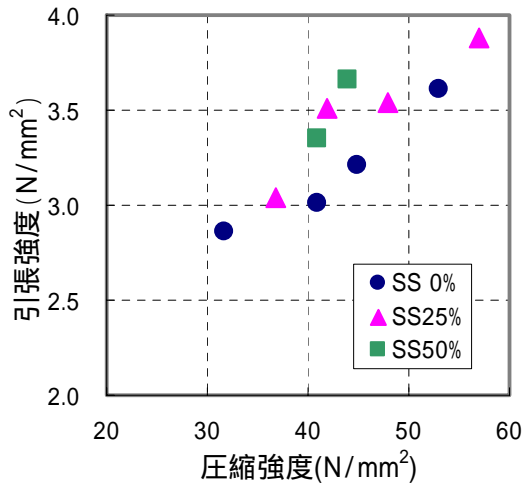


図 2-21 圧縮強度と引張強度との関係

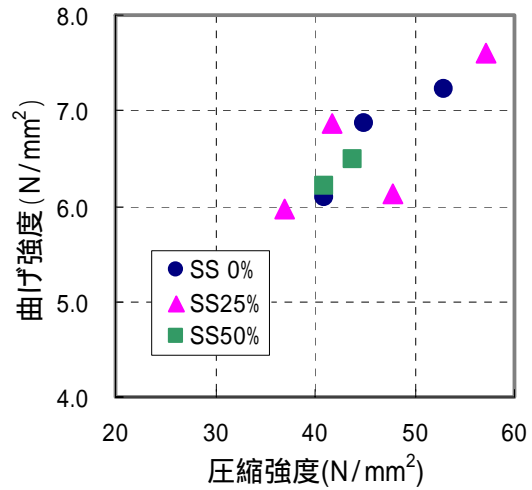


図 2-22 圧縮強度と曲げ強度との関係

2.2.3 付着強度

図 2-23 に JSCE-G503 「引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法」に従ったシェルコンクリート（W/C=50%，普通ポルトランドセメント使用）の圧縮強度と最大付着応力度との関係を示す．なお，付着強度用の鉄筋は D19 を用いて鉛直に配置した．同図に示すように，シェルコンクリートは通常のコンクリートと同等の付着強度を有している．

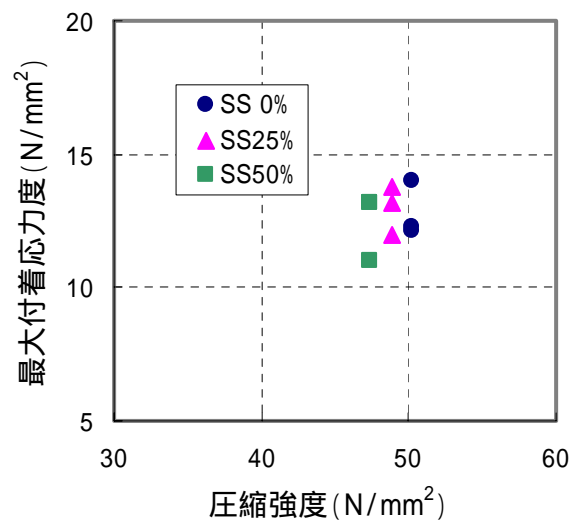


図 2-23 圧縮強度と最大付着応力度との関係

2.2.4 打継ぎ強度

先行して打設したコンクリートを翌日にワイヤブラシを用いてレイタンス処理を行い、材齢9日に新しいコンクリートを打継いだ。新しいコンクリートの材齢28日における、打継ぎ部から水平方向に採取したコア供試体(W/C=50% ,高炉セメントB種使用)について、シェルサンド置換率と引張(割裂)強度との関係を標準供試体の引張(割裂)強度と併せて図2-24に示す。同図に示すように、シェルコンクリートも普通コンクリートと同様に、打継ぎ部コア供試体の引張強度は標準供試体に比べて小さいものの、通常のコンクリートと同等の打継ぎ性状を得ることができる。

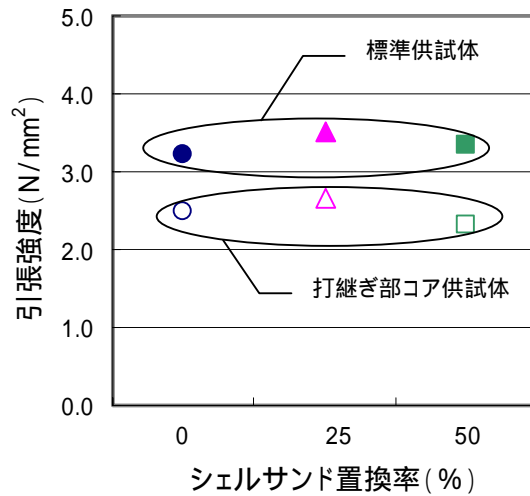


図2-24 打継ぎ強度

2.2.5 静弾性係数

図2-25にシェルコンクリート(W/C=50% ,普通ポルトランドセメント使用)の静弾性係数の発現状況を示す。また、図2-26には圧縮強度と静弾性係数との関係を示す。これらの図から、シェルコンクリートは通常のコンクリートに比べ、シェルサンド置換率の増加に伴い、圧縮強度に対する静弾性係数の値は小さくなる傾向がある。

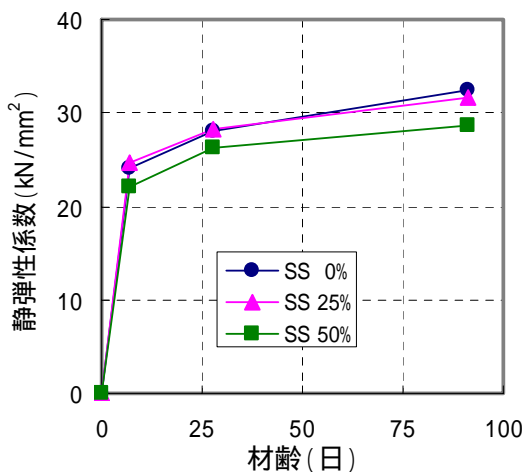


図2-25 静弾性係数の発現状況

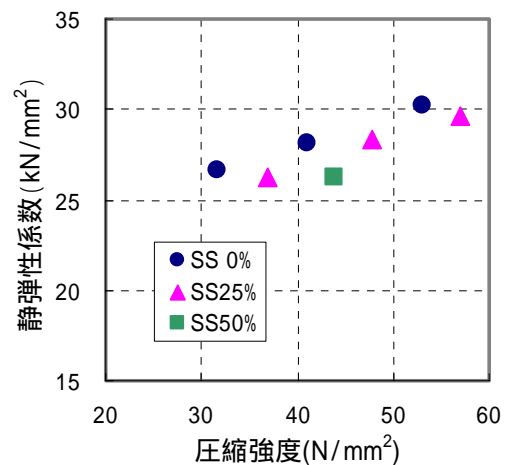


図2-26 圧縮強度と静弾性係数との関係

2.2.6 ポアソン比

図 2-27 にシェルコンクリート(W/C=50% ,高炉セメント B 種使用)の圧縮強度とポアソン比との関係を示す。同図に示すように、シェルコンクリートのポアソン比の関係は、通常のコンクリートと比べて大きな差は認められない。

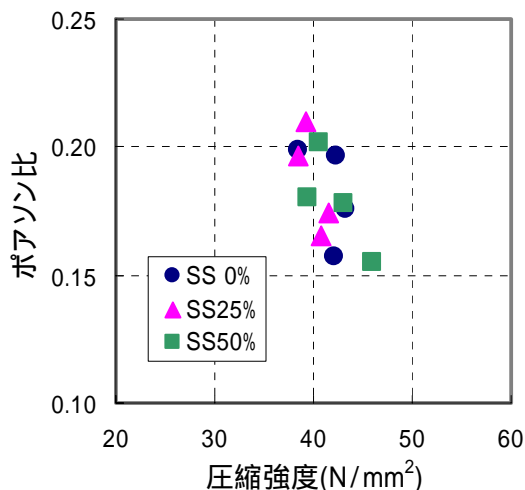


図 2-27 圧縮強度とポアソン比との関係

2.2.7 乾燥収縮

図 2-28 にシェルコンクリート(W/C=50% ,高炉セメント B 種使用)の乾燥収縮試験結果の一例を示す。同図に示すように、シェルサンド置換率の増加に伴い、シェルコンクリートの乾燥収縮は大きくなる傾向にある。シェルサンドで置換する天然骨材の種類によっても異なるが、一般的に、乾燥収縮は単位水量による影響を受ける。そのため、シェルサンド置換率の増加に伴う、同一スランプを得るための単位水量の増加には十分留意し、単位水量ができるだけ少なくなるように、適切な配合を選定する必要がある。

なお、シェルサンド中の微粒分による乾燥収縮への影響については、図 2-29 のモルタルの乾燥収縮試験結果に示すように、シェルサンド中の微粒分量 SS_p を 0%,5%,10%,15% で変化させた場合でも、シェルサンド置換率 25%の乾燥収縮量に変化はなく、シェルサンド中の微粒分そのものが乾燥収縮量に与える影響は認められない。

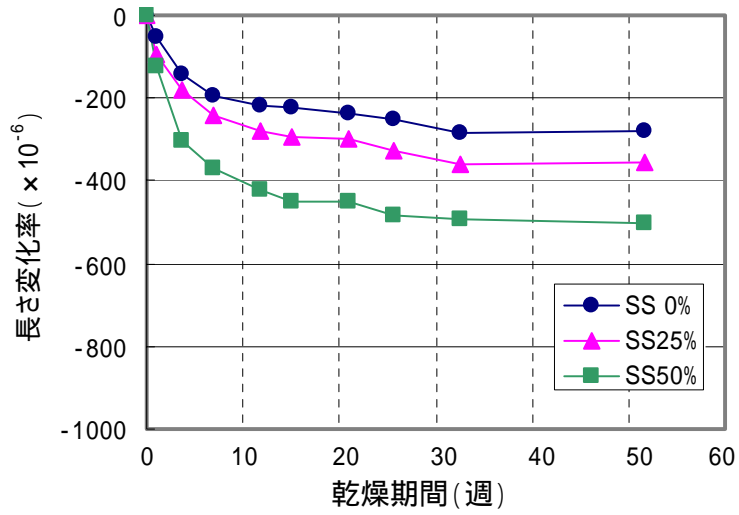


図 2-28 コンクリートによる乾燥収縮試験結果

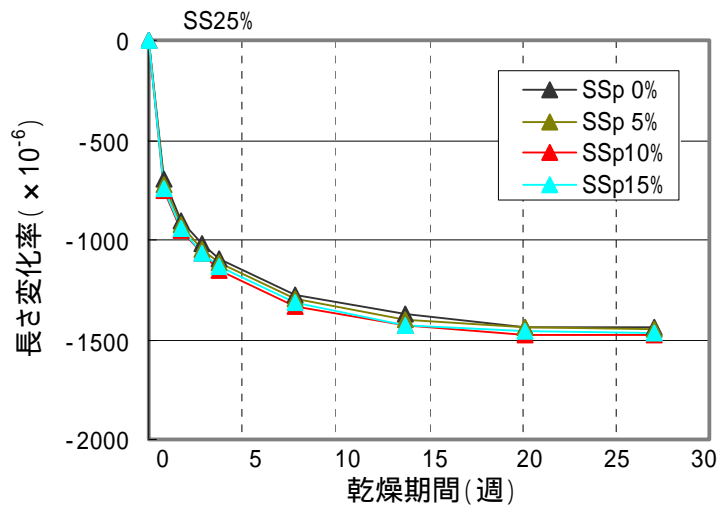


図 2-29 モルタルによる乾燥収縮試験結果
 ~ シェルサンド中の微粒分による影響 ~

2.2.8 熱膨張係数

2種類^{*}のコンクリート材料でそれぞれ行ったシェルコンクリート(W/C=50% ,高炉セメントB種使用)の熱膨張係数の測定結果を表2-1に示す。コンクリートの熱特性は使用する骨材の岩質の影響を受け、通常のコンクリートの場合においても、一般的な熱膨張係数の値は $6\sim 13\times 10^{-6}$ (1/)の範囲にある。同表に示すように、それぞれのコンクリート材料において、シェルサンド置換率の増加に伴う熱膨張係数への影響は認められない。

表 2-1 熱膨張係数

シェルサンド置換率(%)	熱膨張係数 ($\times 10^{-6}/$)	
	材料 A	材料 B
0	7.9	10.8
25	7.5	11.5
50	8.7	10.6

* 材料 A・・・細骨材：陸砂 + 石灰砕砂，粗骨材：石灰砕石

材料 B・・・細骨材：川砂，粗骨材：砕石

2.2.9 鉄筋コンクリートはり部材の曲げ耐力

図 2-30 に曲げ載荷試験用のはり (W/C=50% , 普通ポルトランドセメント使用) の概要を示す。載荷試験は容量 200MN の油圧ジャッキを使用して、はり中央で鉛直方向に静的な単調載荷で行った。載荷は 2 点載荷、2 点支持条件で行い、せん断スパン比は 4.09 とした。

シェルコンクリートも通常のコンクリートと同様に、はり中央部から曲げひび割れが生じ、載荷荷重の増加とともに上方に進展しながら分散し、引張側の鉄筋が降伏後、上方でコンクリートが破壊して終局に至る典型的な曲げ破壊を示した。

図 2-31 と図 2-32 に、はり中央部の鉛直変位と載荷荷重との関係と、はり中央部の曲げスパン内に取付けたパイ型ゲージによって計測したひび割れ幅と載荷荷重との関係をそれぞれ示す。これらの図に示されるように、シェルコンクリートの曲げ載荷試験による力学性状は、通常のコンクリートと比べて大きな差は認められず、構造設計では通常の設計方法が適用可能である。

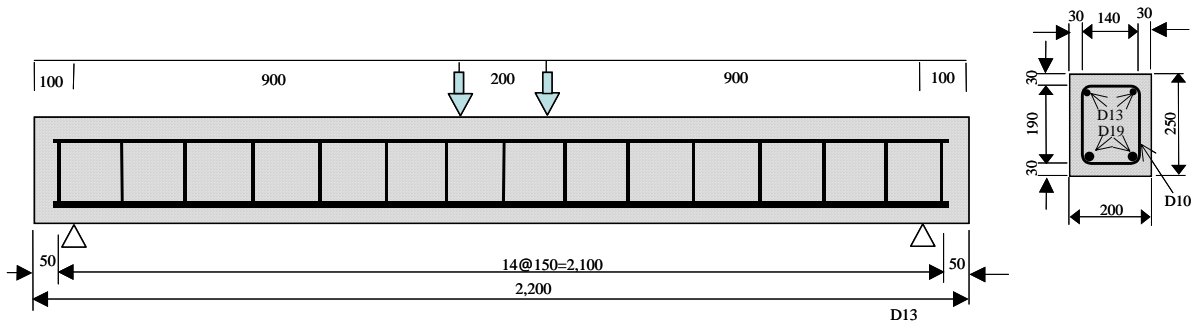


図 2-30 曲げ載荷試験用のはりの概要

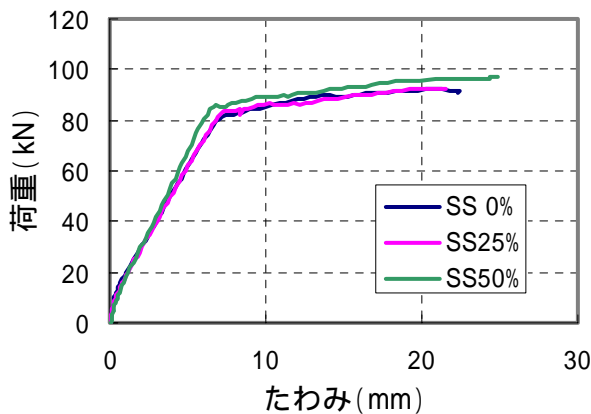


図 2-31 鉛直変位と載荷荷重との関係

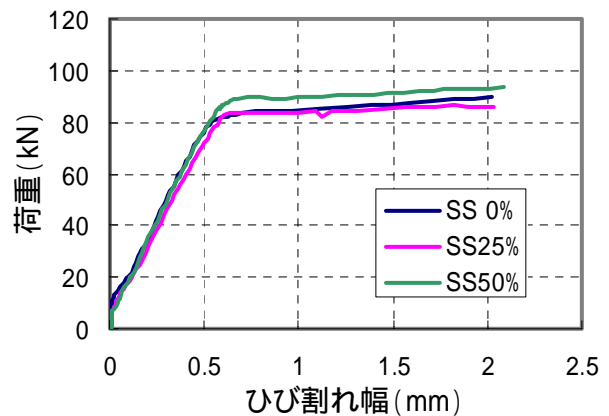


図 2-32 ひび割れ幅と載荷荷重との関係

2.2.10 鉄筋コンクリートはり部材のせん断耐力

図 2-33 にせん断載荷試験用のはり(W/C=50% ,普通ポルトランドセメント使用)の概要を示す．載荷試験は容量 200MN の油圧ジャッキを使用して，はり中央で鉛直方向に静的な単調載荷で行った．載荷は 2 点載荷，2 点支持条件で行い，せん断スパン比は 1.59 とした．

シェルコンクリートも普通コンクリートと同様に，載荷荷重を増加させるとはり中央部から曲げひび割れが発生し上方に進展するとともに，支点近傍から斜め方向にひび割れが発生して，終局時は載荷点近傍のコンクリートが圧壊する典型的なせん断破壊であった．

図 2-34 に，はり中央部の鉛直変位と載荷荷重との関係を示す．同図に示すように，シェルコンクリートのせん断載荷試験による力学性状は，通常のコンクリートと比べて大きな差は認められず，構造設計では通常の設計方法が適用可能である．

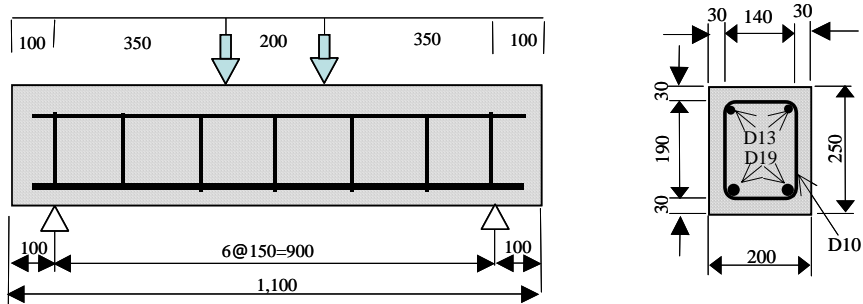


図 2-33 せん断載荷試験用のはりの概要

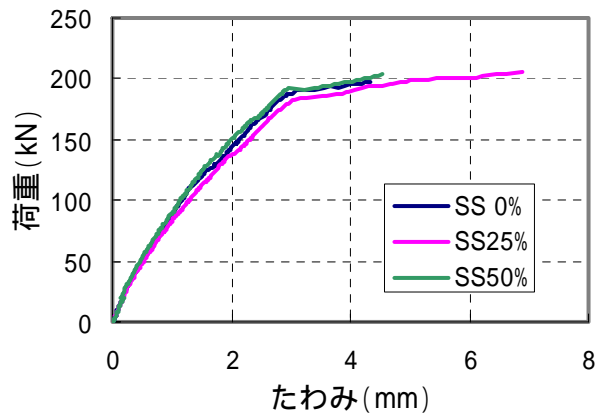


図 2-34 鉛直変位と載荷荷重との関係

2.3 耐久性

耐久性に関する試験結果として以下に示すシェルコンクリートの配合は、所要のスランプを得るために、同じ水セメント比で単位水量を増加させた場合のものである。

2.3.1 凍結融解抵抗性

図 2-35 および図 2-36 に、シェルコンクリートの凍結融解抵抗性試験の結果をそれぞれ示す。これらの図に示されるように、 $W/C=65\%$ 、 50% のいずれの場合においても、シェルコンクリートの耐凍害性を示す相対動弾性係数は 85% 以上あり、一般に凍結融解抵抗性を確保する上で必要とされている 60% 以上を満足している。凍結融解がしばしば繰り返される地域の港湾構造物に対してもシェルコンクリートの適用が可能である。

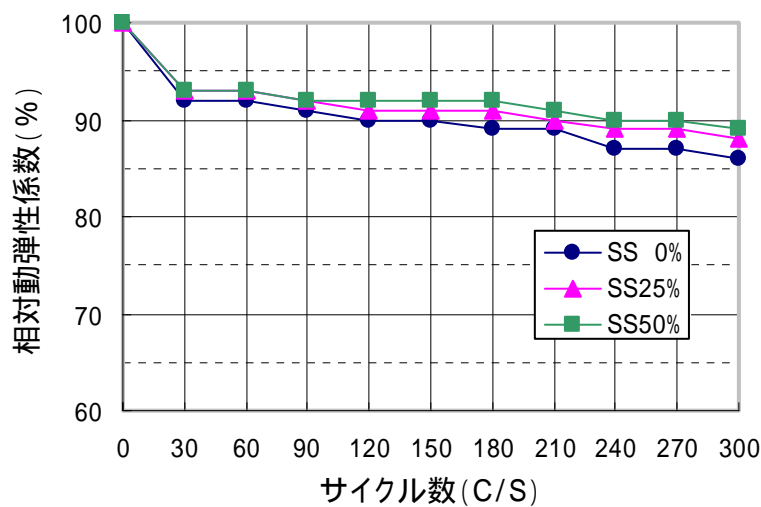


図 2-35 凍結融解抵抗性試験結果
($W/C=65\%$ 、普通ポルトランドセメント使用)

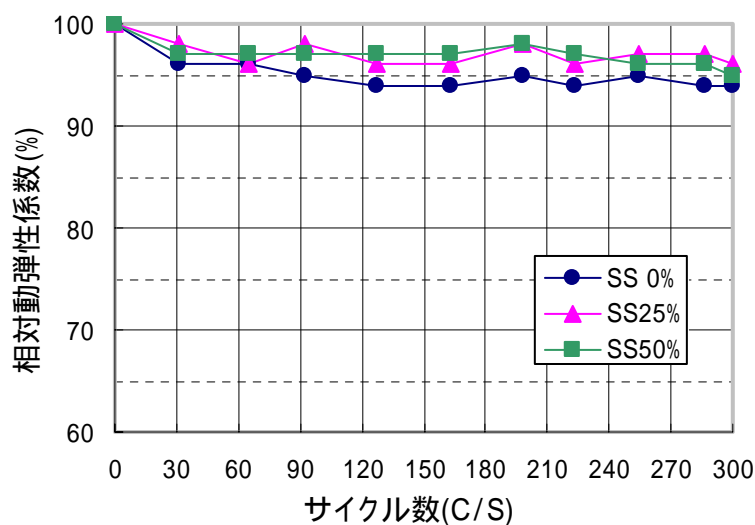


図 2-36 凍結融解抵抗性試験結果
($W/C=50\%$ 、高炉セメント B 種使用)

2.3.2 塩分浸透性

普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を使用した場合の、JSCE-G572「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法」に従った、材齢 2 年におけるシェルコンクリート (W/C=65%) の深さ方向の塩化物イオン測定結果の一例を図 2-37、図 2-38 に示す。また、図 2-39 には高炉セメント B 種を使用した場合について、材齢 1 年における W/C=50% のシェルコンクリートについて、深さ方向の塩化物イオン測定結果の一例を示す。

これらの図に示すように、同じ配合条件では、いずれも同様な分布を示しており、通常コンクリートと比べて、シェルコンクリートの塩分浸透性への影響は認められない。

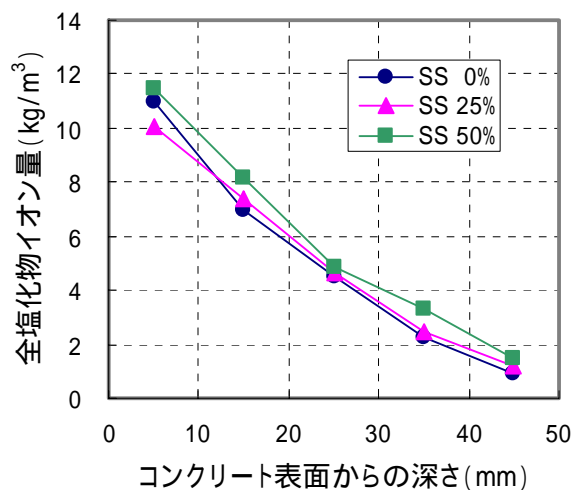


図 2-37 全塩化物イオン量分布 (材齢 2 年)
(W/C=65%; 普通ポルトランドセメント使用)

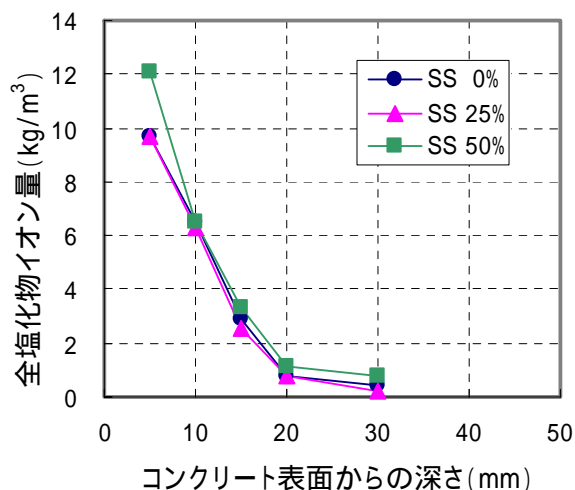


図 2-38 全塩化物イオン量分布 (材齢 2 年)
(W/C=65%; 高炉セメント B 種使用)

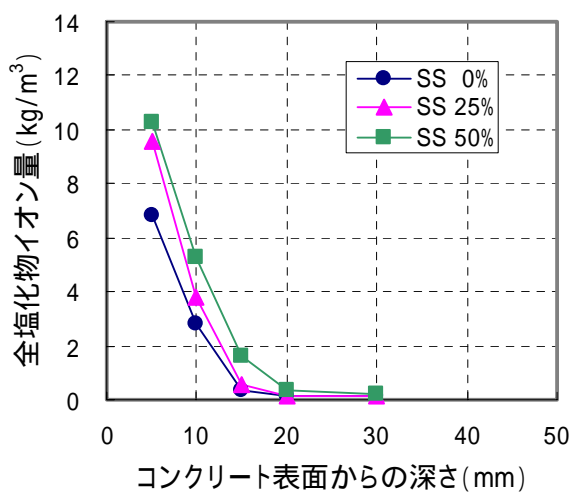


図 2-39 全塩化物イオン量分布 (材齢 1 年)
(W/C=50%; 高炉セメント B 種使用)

2.3.3 中性化

日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説」(付1・コンクリートの促進中性化試験方法(案))に従ったシェルコンクリート(W/C=50%, 高炉セメントB種使用)の中性化促進試験の結果を図2-40に示す。同図に示すように、通常コンクリートと比べて、シェルコンクリートの中性化深さに差は認められない。

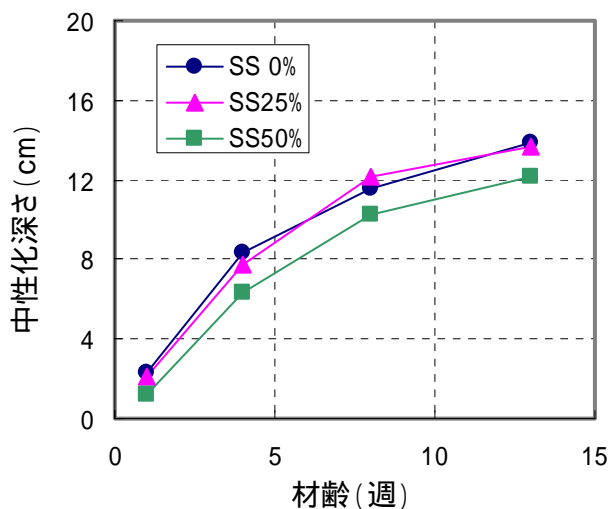


図 2-40 促進中性化試験結果

2.3.4 水密性

インプット法によるシェルコンクリート(W/C=50%, 高炉セメントB種使用)の透水試験(水圧0.5Mpa)の結果を図2-41に示す。同図に示すように、通常コンクリートと比べて、シェルコンクリートの拡散係数に差は認められない。

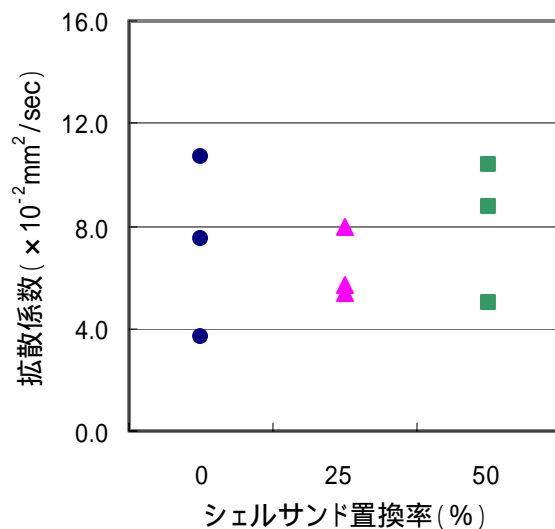


図 2-41 透水試験結果

2.3.5 長期強度

図 2-42 は普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を使用した場合について、海中養生を行ったシェルコンクリート (W/C=65%) の長期圧縮強度を標準養生の圧縮強度と併せて示したものである。また、図 2-43 は高炉セメント B 種を使用した場合の、海中養生を行ったシェルコンクリート (W/C=50%) について、長期圧縮強度を同様に示したものである。これらの図に示すように、セメントの種類に関わらず、シェルコンクリートの長期圧縮強度の低下はみられない。

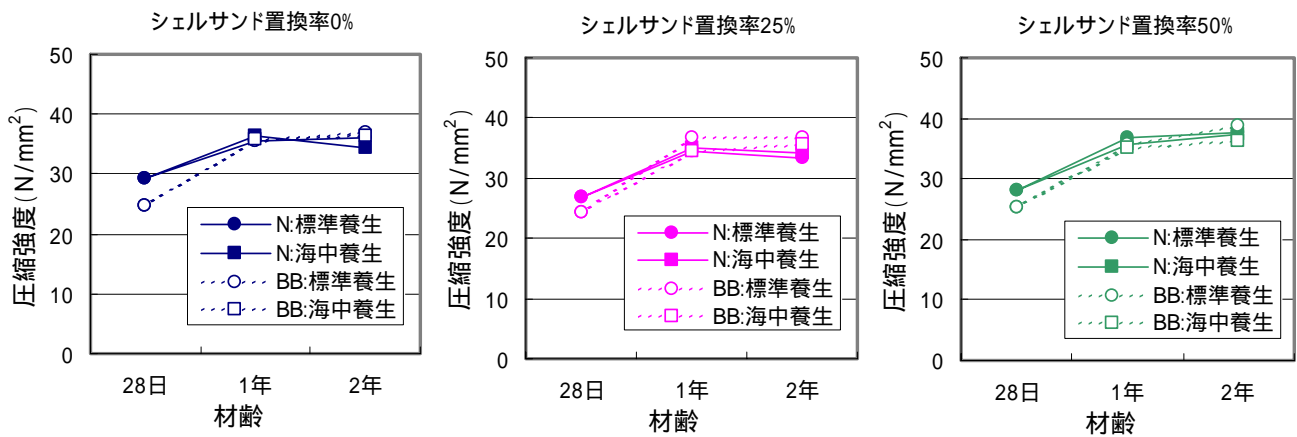


図 2-42 長期圧縮強度

(W/C=65%, 普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種使用)

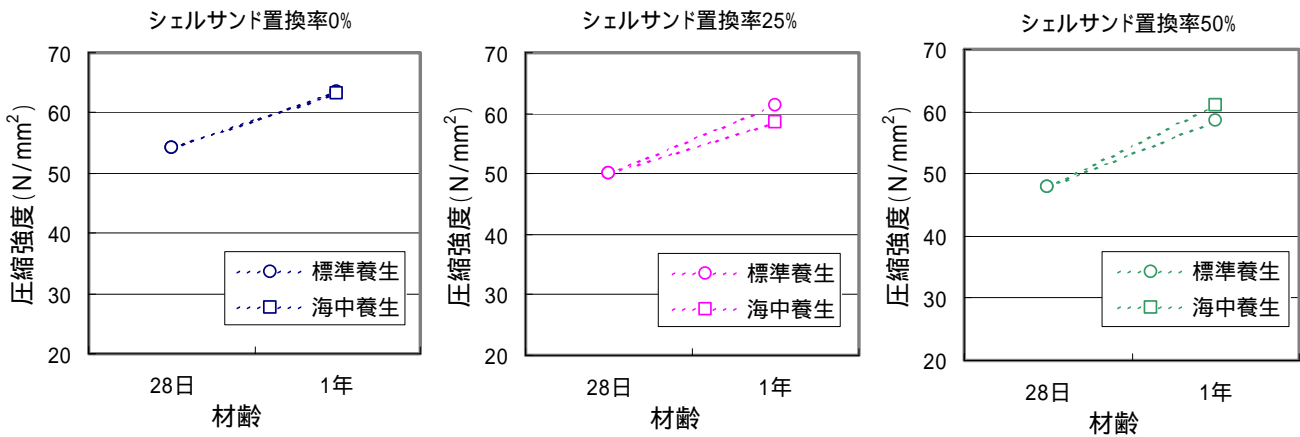


図 2-43 長期圧縮強度

(W/C=50%, 高炉セメント B 種使用)

付属資料 3 シェルコンクリートの配合設計

3.1 配合設計フロー

シェルコンクリートは、付属資料 - 2 に示すように、通常のコンクリートと同等の性質を有しているものの、シェルサンド置換率の増加に伴い、所要のスランプを得るために必要となる単位水量は増える傾向となり、ブリーディング量の増加や凝結の遅延、また、乾燥収縮量の増加に影響を与える。

そのため、3.3 に示す各種配合試験結果を参考にして、施工ができる範囲内で、できるだけ単位水量を少なくする適切な配合選定を行う必要がある。

図 3-1 にシェルコンクリートの配合設計フロー図と、単位水量の上限値の推奨値を示す。

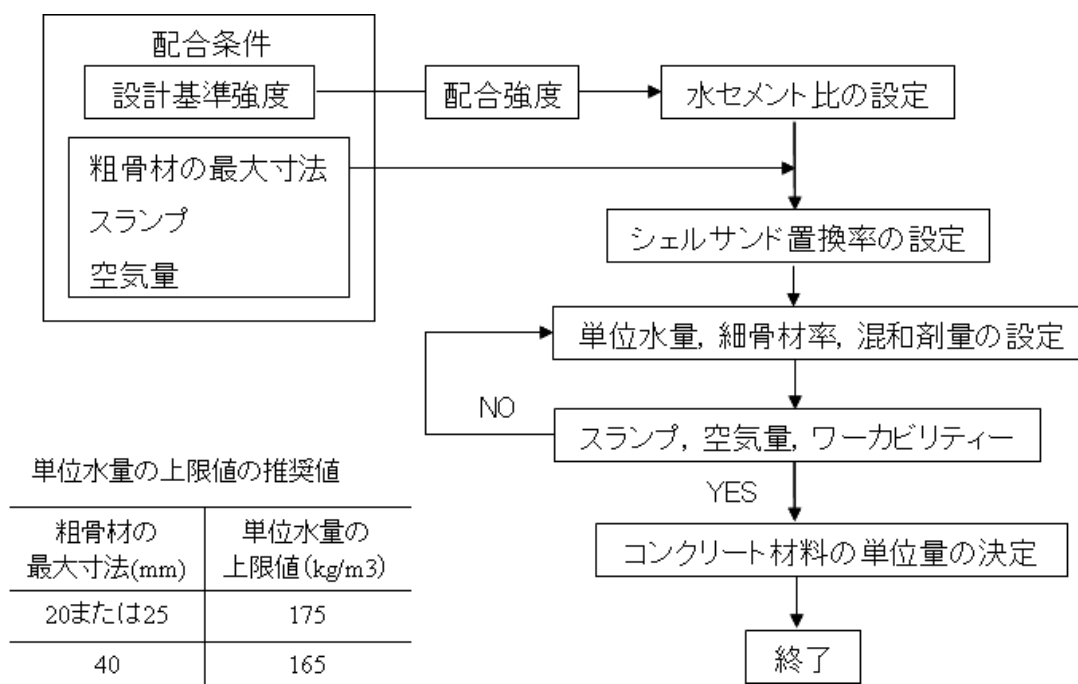


図 3-1 シェルコンクリートの配合設計フロー図と、単位水量の上限値の推奨値

3.2 シェルコンクリートの配合例

3.2.1 配合条件および使用材料

表 3-1, および表 3-2 に配合条件と使用材料を示す。

表 3-1 配合条件

粗骨材の最大寸法(mm)	スランプ(cm)	空気量(%)
25	14±2.5	4.5±1.0

表 3-2 使用材料の種類および主な物性値

使用材料	種類	主な物性値
セメント(C)	高炉セメント B 種(BB)	密度：3.04g/cm ³
シリカド [*] (SS)	青森県平内町産(種類:半成貝)	表乾密度：2.61g/cm ³ , 粗粒率：3.32
細骨材(S)	八戸市松館産 砕砂 (25%)	表乾密度：2.68g/cm ³ , 粗粒率：3.60
	三沢市庭構産 陸砂 (75%)	表乾密度：2.65g/cm ³ , 粗粒率：2.30
粗骨材(G)	八戸市松館産 砕石 2505	表乾密度：2.70g/cm ³ , 実積率：62.1%
AE 減水剤(Ad)	ポリカルボキシル酸系化合物	-

3.2.2 コンクリート配合

シェルサンド置換率を変化させた場合のコンクリート配合は次のような手順で設計するものとする。

セメント水比と圧縮強度の関係は、図 2-18 や図 2-19 に示すように、シェルサンド置換率による影響がそれほど大きくないことから、シェルサンドを用いない場合のセメント水比と圧縮強度の関係を用いて必要強度が得られるように水セメント比を設定する。所要のスランブを得るために必要となる単位水量は図 2-2(付属資料 - 2)を参考に設定し、単位粗骨材かさ容積 (m^3/m^3) はシェルサンドを用いない配合と同一として、単位細骨材量を計算により求める。そのようにして定めた配合について試験練りを行い、スランブ、空気量、ワーカビリティの確認を行って配合を定めるものとする。水セメント比 40,50,60%について、シェルサンド置換率 0,25,50%のコンクリート配合例を表 3-3 に示す。

実際の配合においては、3.3 に示す各種配合試験結果を参考に、細骨材率や混和剤量によって、所要のワーカビリティが得られる範囲内で、図 3-1 に示す単位水量の上限値（推奨値）を満足できるように、できるだけ単位水量を少なくする必要がある。

なお、ブリーディングや凝結特性、乾燥収縮などの性能が要求される場合においては、その水準を満足することを確認する必要がある。

表 3-3 コンクリート配合

水セメント比 W/C(%)	シェルサンド 置換率(%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)						C× (%)	
			W	C	SS	S	S	G	Ad	
40	0	41.7	156	390	0	187	556	1056	0.50	
	25	39.4	170	425	166	128	379	1056	0.50	
	50	37.3	182	455	303	78	231	1056	0.50	
50	0	44.4	152	304	0	209	620	1056	0.40	
	25	42.5	166	332	188	145	430	1056	0.40	
	50	40.8	178	356	351	90	267	1056	0.40	
60	0	45.7	152	253	0	220	653	1056	0.40	
	25	44.0	166	277	200	154	458	1056	0.40	
	50	40.8	178	297	376	97	287	1056	0.40	

3.3 シェルコンクリートの各種配合試験結果(W/C=50%)

3.3.1 シェルコンクリートの単位水量とスランプとの関係

シェルサンド置換率 25% ,50%のシェルコンクリートについて ,細骨材率をそれぞれ固定して ,単位水量を変化させた場合のスランプとの関係を図 3-2 に示す .

スランプ 1cm を変化させるための単位水量の割合は ,シェルサンド置換率 25% で 1.26% ,シェルサンド置換率 50% で 1.36% となり ,土木学会コンクリート標準示方書「施工編」(2007 年制定)に示されている 1.2% と同程度である .

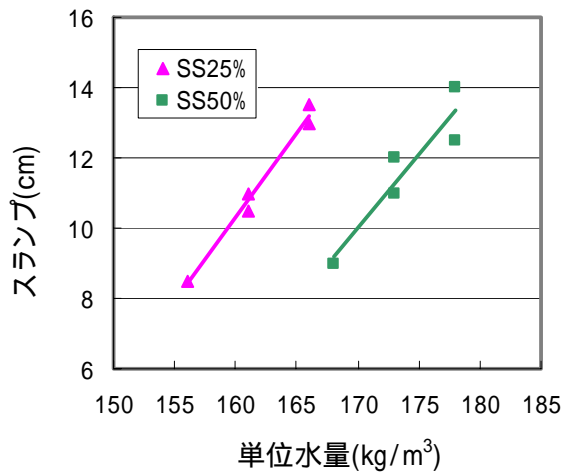


図 3-2 シェルコンクリートの単位水量とスランプとの関係

3.3.2 シェルコンクリートの細骨材率とスランプとの関係

シェルサンド置換率 25% ,50%のシェルコンクリートについて ,単位水量をそれぞれ固定して ,細骨材率を変化させた場合のスランプとの関係を図 3-3 に示す .

細骨材率は所要のワーカビリティが得られる範囲内で ,単位水量が最小になるように設定する必要となるが ,同図に示すように ,シェルコンクリートのスランプ 1cm を変化させるための細骨材率は 2% 程度である .

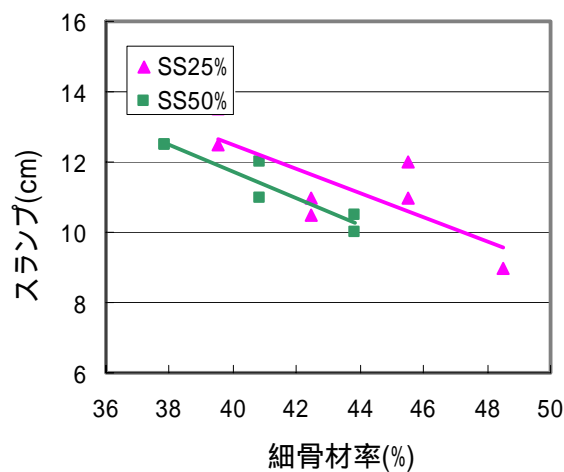


図 3-3 シェルコンクリートの細骨材率とスランプとの関係

3.3.3 シェルコンクリートの AE 減水剤量とスランプとの関係

シェルサンド置換率 25% , 50% のシェルコンクリートについて , AE 減水剤の添加量を変化させた場合のスランプとの関係を図 3-4 に示す .

使用する AE 減水剤によっても異なるが , シェルコンクリートにおいても通常のコンクリートと同様な減水効果がみられる .

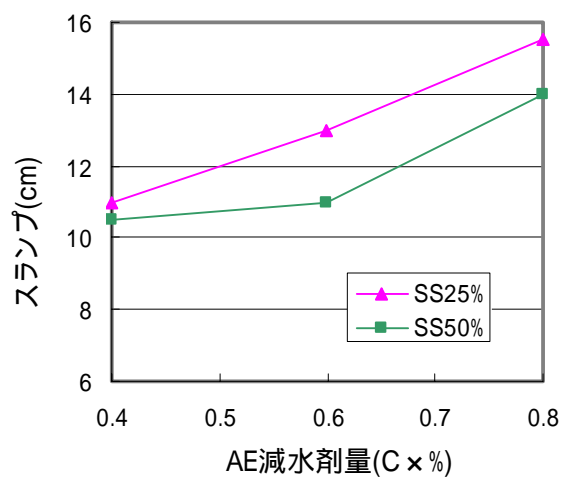


図 3-4 シェルコンクリートの AE 減水剤量とスランプとの関係

付属資料 4 シェルコンクリートの適用実績

4.1 ケーソン根固ブロックへの適用

4.1.1 適用工事の概要

- ・ 工事名称 ; 八戸港技術開発実証工事
- ・ 発注者 ; 国土交通省東北地方整備局 八戸港湾・空港整備事務所
- ・ 施工年度 ; 平成 18 年度
- ・ 施工場所 ; 青森県八戸市鮫町（製作・陸上曝露）
八戸港外港地区第二中央防波堤（仮沈設・海中曝露）
- ・ 概要 ; シェルサンド置換率を 0% , 25% , 50%と変化させたケーソン根固ブロックを製作して、コンクリートバケットでの打設適応性を含めた施工性を確認すると共に、各置換率に対してそれぞれ2函製作し、1函を陸上曝露、もう1函を海中曝露して異なる養生条件下での長期耐久性を開始した。

4.1.2 根固ブロックの概要

根固ブロックは長さ 5.0m、幅 2.5m、高さ 1.4m の有孔型であり、1個あたりのコンクリート数量は約 16m³ である。根固ブロックの形状を図 4-1 に、詳細図を図 4-2 にそれぞれ示す。

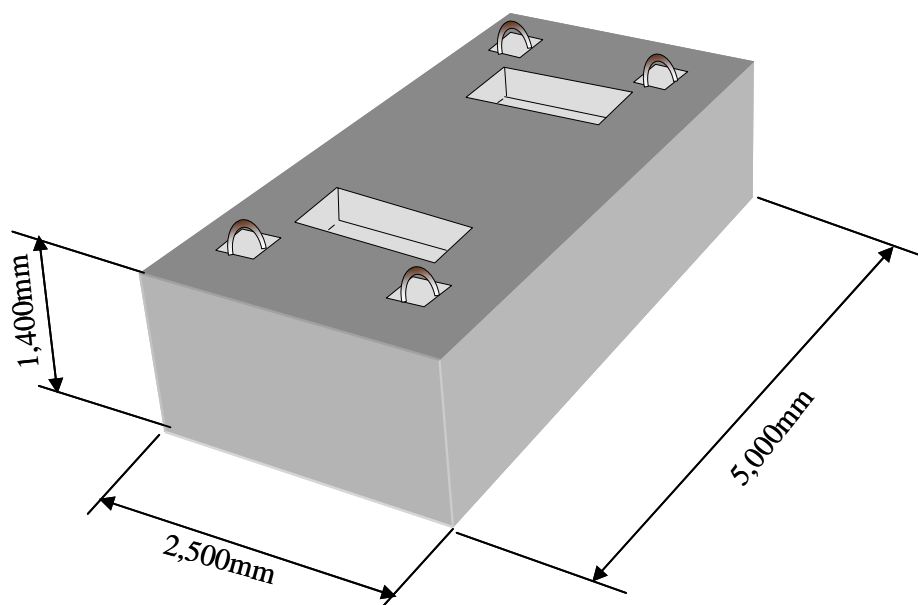


図 4-1 根固ブロックの概要

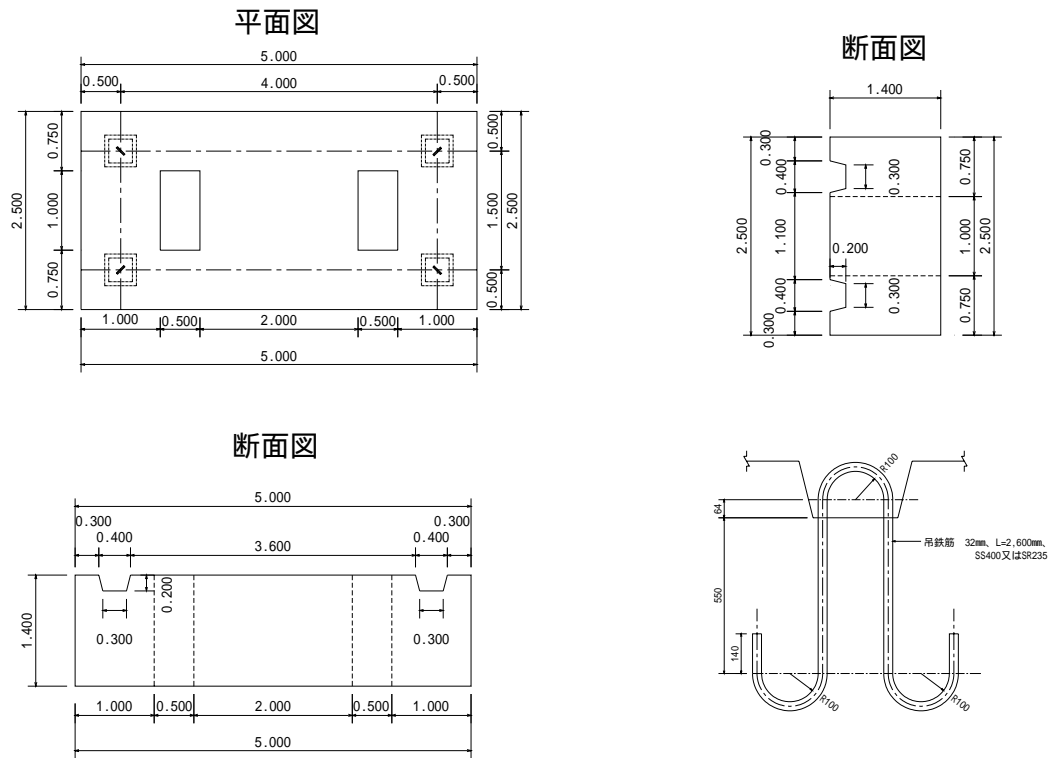


図 4-2 根固ブロックの詳細

4.1.3 使用材料および配合

根固ブロックの製作に使用したコンクリートの使用材料を表 4-1 に、シェルサンドの物性値を表 4-2 に、コンクリートの配合条件，配合をそれぞれ表 4-3，表 4-4 に示す。

表 4-1 使用材料の種類および主な物性値

使用材料	種類	物性値
セメント(C)	〇社製普通ポルトランドセメント(N)	密度：3.15g/cm ³
シェルサント(SS)	青森県平内町産(種類:半成貝)	シェルサント物理試験結果，表 3-2 を参照
細骨材(S)	上北郡六ヶ所村 山砂 (65%)	表乾密度：2.62g/cm ³ ，吸水率：2.10%
	八戸市松館 砕砂 (35%)	表乾密度：2.66g/cm ³ ，吸水率：1.08%
粗骨材(G)	八戸市松館 砕石 2505 (55%)	表乾密度：2.70g/cm ³ ，吸水率：0.34%
	八戸市島守 砕石 4020 (45%)	表乾密度：2.93g/cm ³ ，吸水率：0.33%
AE 減水剤(Ad)	リグニルスルホン酸塩およびポリカルボキシル酸塩系	
AE 剤	高アルキルカルボキシル酸化合物系陰イオン界面活性剤	

表 4-2 シェルサンドの物性値

試験項目	試験方法	測定項目	規定値	試験結果
比重・吸水試験	JIS A 1109	表乾密度(g/cm ³)	-	2.63
		絶乾密度(g/cm ³)	2.5 以上	2.60
		吸水率(%)	3.5 以下	1.02
ふるい分け試験	JIS A 1102	粗粒率 F.M.	-	3.69
微粒分量試験	JIS A 1103	微粒分量(%)	-	8.5
有機不純物試験	JIS A 1105	有機不純物	淡い	淡い
NaCl 含有量試験	JASS 5T 202	可溶性塩分(NaCl)量 (%)	0.04 以下	0.003
全塩化物(CL)試験	JIS A 1154	全塩化物(CL)量(%)	0.04 以下	0.004
すりへり試験	JIS A 1121	すりへり減量(%)	10 以下	13.4

表 4-3 コンクリートの配合条件

対 象	配合条件				
	最大 水セメント比(%)	スランプ (cm)	粗骨材の 最大寸法(mm)	シェルサンド 置換率 (%)	コンクリート強度 σ28(N/mm ²)
根固 ブロック	65	8	40	0, 25, 50	18

表 4-4 コンクリート配合

記号	水セメント比 W/C(%)	シェルサンド 置換率(%)	単体量(kg/m ³)							C × (%)	
			W	C	SS	S	S	G	G	Ad	AE 剤
SS 0	65	0	149	229	0	534	292	623	553	1.00	3.0A
SS25		25	160	246	195	584	0	623	553	1.00	2.0A
SS50		50	172	265	367	366	0	623	553	1.00	1.5A

*1A=0.003%

4.1.4 適用結果

(1) 施工性

シェルコンクリートは生コン工場で製造後、生コン車で製作場所まで運搬してコンクリートバケットを用いて打設(2層打ち)を行った。シェルサンド置換率 25%および 50%のいずれのケースも施工性に問題はなく、通常のコンクリート(置換率 0%)のものと同等に取り扱いすることが可能であることが分かった。

なお、スランプ、および空気量は付 2-3 頁に示したとおりであり、運搬時間(約 30 分)の経過にともなうフレッシュコンクリートの性状の変化も、通常のコンクリートとほぼ同様であることが分かる。



写真 4-1 シェルコンクリートの打設状況



写真 4-2 シェルコンクリートの打設状況



写真 4-3 シェルコンクリートの状況 (SS25%)



写真 4-4 シェルコンクリートの状況 (SS50%)



写真 4-5 根固ブロック全景



写真 4-6 根固ブロック海中投入状況

(2) 材料分離抵抗性

コンクリートの材料分離抵抗性が低下する場合には、振動締固め等によって、深い位置でのコア単位容積質量は増大する傾向がみられることから、シェルコンクリートの材料分離抵抗性の評価は、根固ブロックの深さ方向から採取したコアの深さ位置の単位容積質量で行った。

コアの深さ位置と平均単位容積質量の関係を図 4-3 に、また、図中にはコアの深さ位置と平均圧縮強度の関係も示す。2層目にあたる深さ 0.0~0.6m の範囲では、いずれも深い位置(深さ 0.3~0.6m)のコアほど単位容積質量は増大する傾向がみられた。シェルコンクリート(SS25, SS50)の方が、その傾向はやや顕著であるが、深さ位置の違いによる圧縮強度への明らかな影響はみられないことから、シェルコンクリートの材料分離抵抗性に問題はないものと判断される。

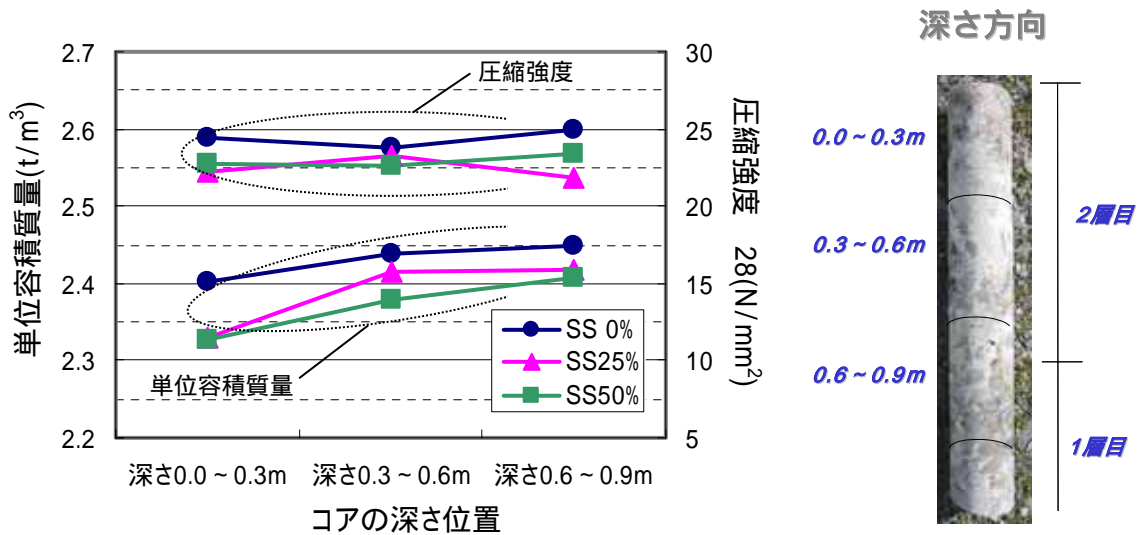


図 4-3 コアの深さ位置と単位容積質量および圧縮強度の関係



写真 4-7 材齢 1 年でのコア採取状況(海中から引上げた根固ブロック)

4.2 ケーソン蓋コンクリートへの適用

4.2.1 適用工事の概要

- ・ 工事名称 ; 八戸港外港地区防波堤（第二中央）築造工事
- ・ 発注者 ; 国土交通省東北地方整備局 八戸港湾・空港整備事務所
- ・ 施工年度 ; 平成 19 年度
- ・ 施工場所 ; 八戸港外港地区第二中央防波堤
- ・ 概要 ; ケーソンの蓋コンクリートへのシェルコンクリートの適用性を検討する目的で、コンクリートミキサー船でシェルコンクリートを製造し、ケーソンの蓋コンクリートを海上打設した。なお、シェルサンド置換率は 25% とし、通常の配合の蓋コンクリートと比較した。

4.2.2 ケーソン蓋コンクリートの概要

シェルコンクリートを適用したケーソンは一つのセルの平面の内空寸法が 4.65m × 3.3m で、12 セルタイプのケーソンである。蓋コンクリートの厚さは 0.7m であり、ケーソン 1 函当りの蓋コンクリートの打設数量は 132m³ であった。

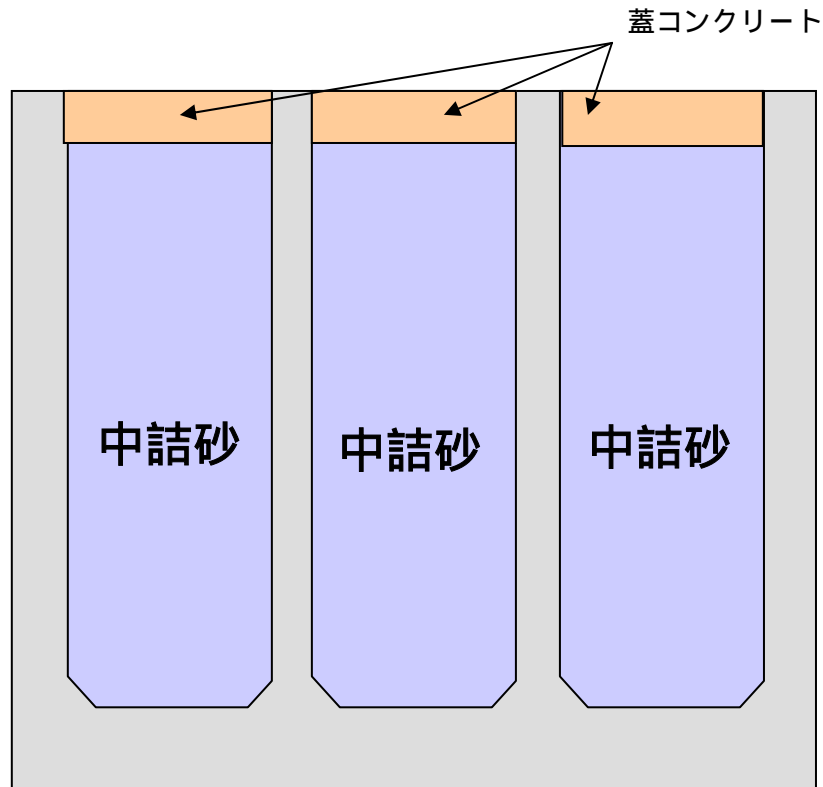


図 4-4 ケーソン蓋コンクリートの概要

4.2.3 使用材料および配合

蓋コンクリートに使用したコンクリートの使用材料を表 4-5 に、シェルサンドの物性値を表 4-6 に、コンクリートの配合条件、配合をそれぞれ表 4-7、表 4-8 に示す。

表 4-5 使用材料の種類および主な物性値

使用材料	種類	主な物性値
セメント(C)	M 社製高炉セメント B 種(BB)	密度：3.04g/cm ³
シェルサンド(SS)	青森県平内町産(種類:半成貝)	シェルサンド物理試験結果、表 3-6 を参照
細骨材(S)	六ヶ所産 陸砂	表乾密度：2.62g/cm ³ ，粗粒率：2.58%
粗骨材(G)	島守産 砕石 4005	表乾密度：2.95g/cm ³ ，実積率：61.0%
AE 減水剤(Ad)	リグニンスルホン酸化合物	-

表 4-6 シェルサンドの物性値

試験項目	試験方法	測定項目	規格	試験結果
密度・吸水率試験	JIS A 1109	表乾密度(g/cm ³)	-	2.61
		絶乾密度(g/cm ³)	2.5 以上	2.55
		吸水率(%)	3.5 以下	2.12
ふるい分け試験	JIS A 1102	粗粒率 F.M.	-	3.32
微粒分量試験	JIS A 1103	微粒分量(%)	-	12.0
有機不純物試験	JIS A 1105	有機不純物	淡い	淡い
NaCl 含有量試験	JASS 5T 202	可溶性塩分(NaCl)量 (%)	0.04 以下	0.004
安定性試験	JIS A 1122	安定性損失質量(%)	10 以下	0.4

表 4-7 コンクリートの配合条件

対 象	配合条件				
	最大 水セメント比(%)	スランプ (cm)	粗骨材の 最大寸法(mm)	シェルサンド 置換率(%)	コンクリート強度 σ ₂₈ (N/mm ²)
ケーソン 蓋コンクリート	65	8	40	0, 25	18

表 4-8 コンクリート配合

記号	水セメント比 W/C(%)	シェルサンド 置換率(%)	単位量(kg/m ³)					
			W	C	SS	S	G	Ad
SS 0	62.7	0	147	234	0	796	1260	2.56
SS25		25	151	241	193	586	1260	2.64

4.2.4 適用結果

(1) 施工性

コンクリートミキサー船におけるコンクリートの試験結果を表 4-9 に、コンクリートの打設状況を写真 4-8、および写真 4-9 に示す。表 4-9 からコンクリートミキサー船において製造されたシェルコンクリートの品質のばらつきは通常のコンクリートと同程度であることが分かった。

また、打設箇所においてもホースの閉塞、材料分離等は認められず、シェルサンド置換率 25% であれば、通常コンクリートと同様にケーソン蓋コンクリートに適用できることが確認された。

表 4-9 コンクリートの試験結果

記号	打設量 (m ³)	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度(N/mm ²)	
				σ7	σ28
SS0	0	8.5	4.7	16.1	27.4
	50	7.0	5.6	12.7	24.4
	100	9.0	5.3	13.8	25.7
	135	7.0	5.3	12.1	24.6
SS25	0	8.5	4.3	19.1	28.0
	50	9.0	4.4	19.7	28.6
	100	7.0	4.5	21.8	32.4
	135	9.0	4.5	19.4	29.3



写真 4-8 シェルコンクリートの打設状況



写真 4-9 シェルコンクリートの打設状況 (SS25%)

4.3 ケーソン模擬供試体の製作

4.3.1 適用工事の概要

- ・ 工事名称 ; 八戸港技術開発実証工事
- ・ 発注者 ; 国土交通省東北地方整備局 八戸港湾・空港整備事務所
- ・ 施工年度 ; 平成 19 年度
- ・ 施工場所 ; 青森県六ヶ所村
むつ小川原ケーソンヤード（製作・陸上曝露）
- ・ 概要 ; シェルサンド置換率を 0% , 25% , 50% と変化させたケーソン模擬供試体をそれぞれ 1 体製作して , コンクリートポンプ車での打設適応性を含めた施工性や , 打継ぎ性状 , また , 鉄筋部への充填状況などを確認した .

4.3.2 ケーソン模擬供試体の概要

ケーソン模擬供試体は , ケーソン本体の形状の一部や配筋などを模擬したものである . 打継ぎ目は底版から 0.9m 上りの側壁部とし , 側壁の配筋は主筋を D13@100 , 配力筋を D13@200 および D13@100 とした . ケーソン模擬供試体の形状を図 4-5 に , 配筋図を図 4-6,7 にそれぞれ示す .

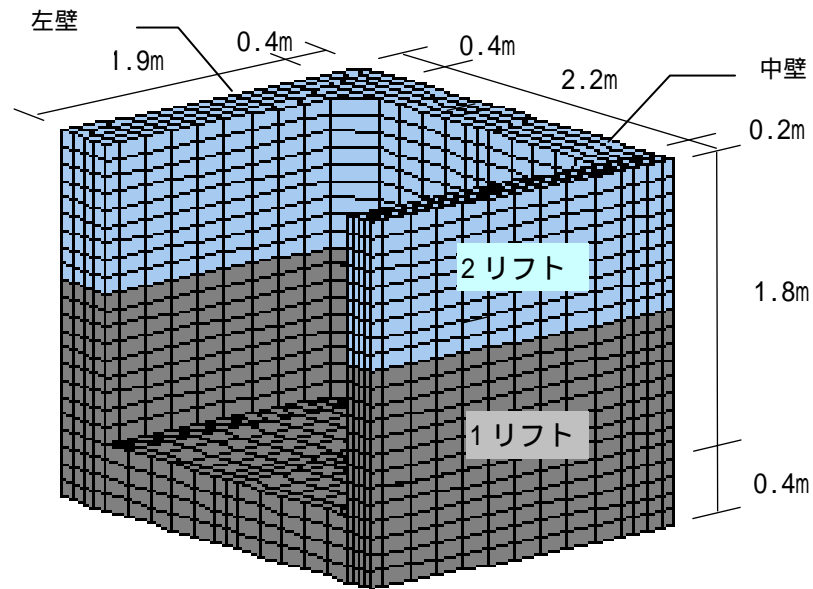


図 4-5 ケーソン模擬供試体の概要

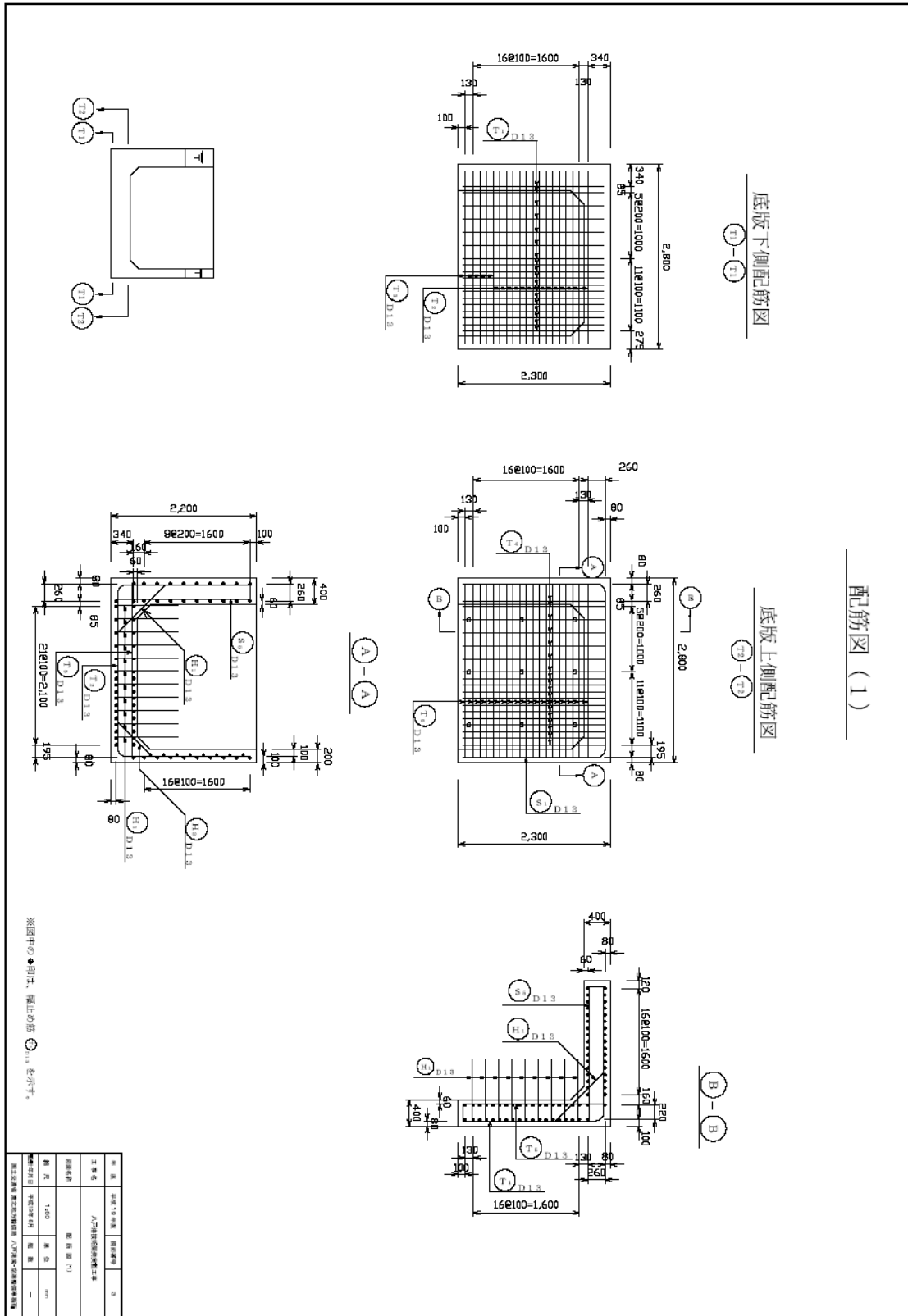


図 4-6 ケーソン模擬供試体の配筋図(1)

配筋図 (2)

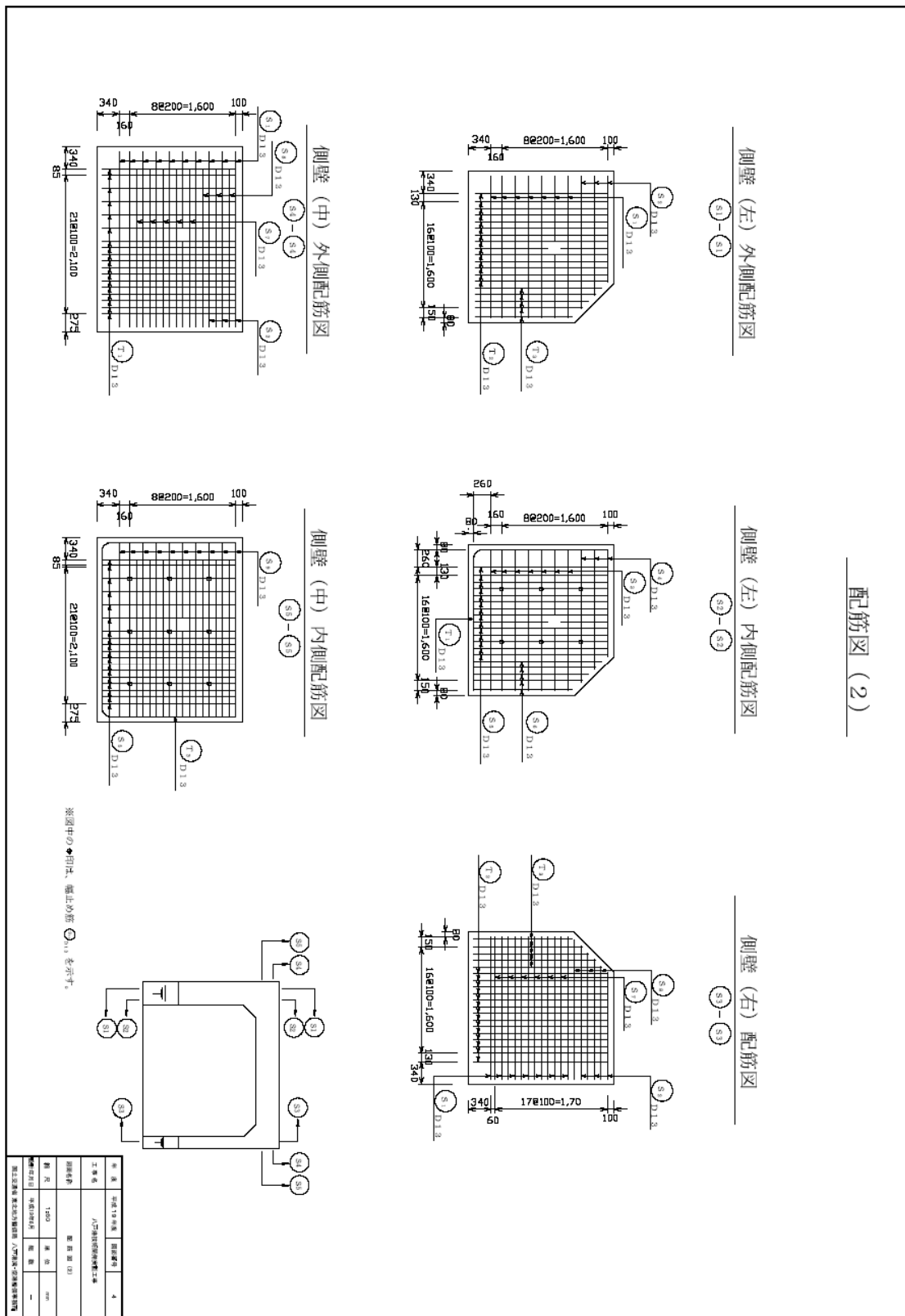


図 4-7 ケーソン模擬供試体の配筋図(2)

4.3.3 使用材料および配合

ケーソン模擬供試体の製作に使用したコンクリートの使用材料を表 4-10 に、コンクリートの配合条件、配合をそれぞれ表 4-11、表 4-12 に示す。

表 4-10 使用材料の種類および主な物性値

使用材料	種類	主な物性値
セメント(C)	M 社製高炉セメント B 種(BB)	密度：3.04g/cm ³
シェルサンド(SS)	青森県平内町産(種類:半成貝)	シェルサンド物理試験結果，表 3-6 を参照
細骨材(S)	八戸市松館産 砕砂 (30%)	表乾密度：2.68g/cm ³ ，粗粒率：3.60
	三沢市庭構産 陸砂 (70%)	表乾密度：2.72g/cm ³ ，粗粒率：2.10
粗骨材(G)	八戸市松館産 砕石 2505	表乾密度：2.70g/cm ³ ，実積率：62.1%
AE 減水剤(Ad)	ホリカホリオン系化合物	
AE 剤	天然樹脂酸塩	

表 4-11 コンクリートの配合条件

対 象	配合条件				
	最大 水セメント比(%)	スランプ (cm)	粗骨材の 最大寸法(mm)	シェルサンド 置換率(%)	コンクリート強度 28(N/mm ²)
ケーソン模擬供試体	50	12	25	0,25,50	30

表 4-12 コンクリート配合

記号	水セメント比 W/C(%)	シェルサンド 置換率(%)	単位量 (kg/m ³)						C × (%)	
			W	C	SS	S	S	G	Ad	AE 剤*
SS0	50	0	147	294	0	260	607	1056	0.40	2.00A
SS25		25	161	322	200	0	599	1056		2.00A
SS50		50	171	342	374	0	373	1056		2.50A

*1A=0.004%

4.3.4 適用結果

(1) 施工性

シェルコンクリートは生コン工場で製造後、生コン車で製作場所まで運搬し、コンクリートポンプ車のブームによる打設（2リフト施工）を行った。生コン車による運搬時間は10～15分程度であった。プラントと製作ヤードで行ったスランプと空気量の試験結果（表4-13）に示すように、経過にともなうフレッシュコンクリートの性状の変化も、通常のコンクリートとほぼ同様であることが分かる。

コンクリートポンプ車（ブーム長：23.5m）による圧送時のコンクリート圧力はいずれも1.8MPと同じであり、ポンプの閉塞や材料分離等もみられず、シェルコンクリートのポンプ打設への適用性が確認された。目視によるワーカビリティおよびブリーディングの評価では、シェルコンクリートと普通コンクリートに大きな違いはみられなく、流動性や鉄筋部への充填状況も良好であった。

表4-13 コンクリートの試験結果

記号	試験場所	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度()
SS0	プラント	14.0	4.8	-
	製作ヤード	12.5	4.1	25.0
SS25	プラント	15.5	4.1	-
	製作ヤード	13.5	3.9	25.0
SS50	プラント	16.0	4.7	-
	製作ヤード	14.0	4.0	25.0

(2) 打継ぎ性状

1リフトと2リフトとの打継ぎ間隔は9日間として、打継ぎ部は1リフトのコンクリート打込み翌日にワイヤブラシを用いてレイタンス処理を行った。写真4-10にレイタンス処理後の打継ぎ部を示す。打継ぎ部の引張強度は付2-12頁に示したとおりであり、シェルコンクリート（SS25，SS50）の打継ぎ性状は、普通コンクリート（SS0）と同等の品質が確保できることが確認された。



写真4-10 レイタンス処理後の打継ぎ部

(3) 温度上昇特性

中壁（厚さ 0.4m，長さ 2.8m）の 1 リフト中央部において測定したコンクリート温度履歴を図 4-8 に示す．また，実施工時の外気温等や，土木学会コンクリート標準示方書「設計編」（2007 年制定）に示されている，コンクリート断熱温度上昇等の標準値を用いた解析結果を図 4-9 に示す．測定したコンクリートの最高温度はシェルサンド置換率の増加に伴い高い傾向にある．同一スランプを得るための単位水量の増加に伴い，単位セメント量が増加したことによるものであるが，解析結果においても同じ傾向を示し，また，コンクリート温度履歴の挙動も同様である．シェルコンクリートの温度上昇特性は，同じ単位セメント量であれば，通常のコンクリートと同様であると考えられる．

なお，コンクリート温度はシェルサンド置換率の増加に伴い高い傾向にあるが，解析結果からは，ひび割れの発生確率はすべて 0%の結果であり，また，実供試体においても温度ひび割れの発生はみられていない．

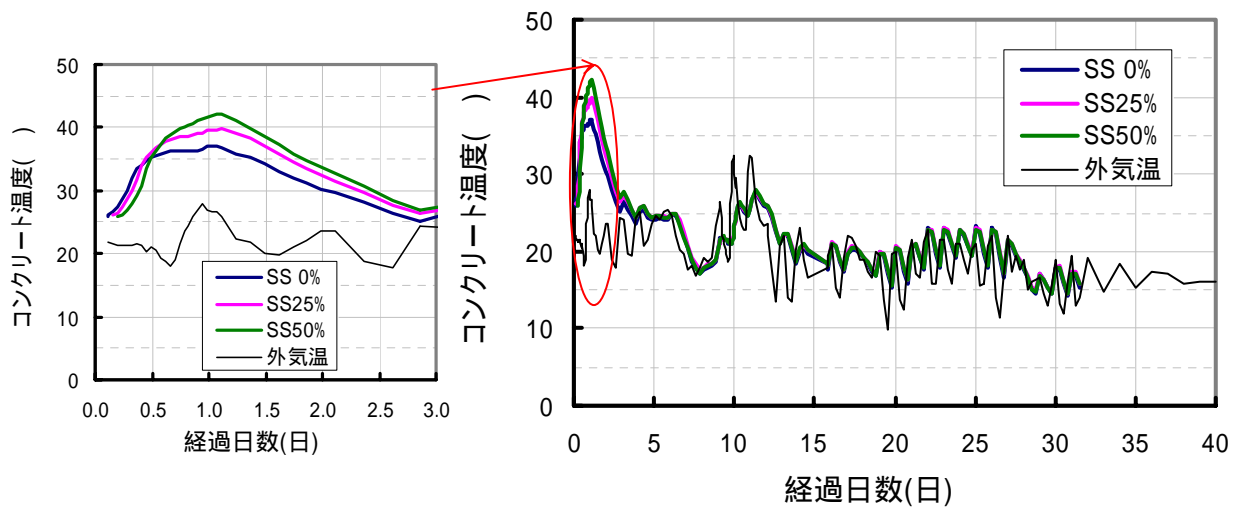


図 4-8 コンクリート温度履歴（測定値）

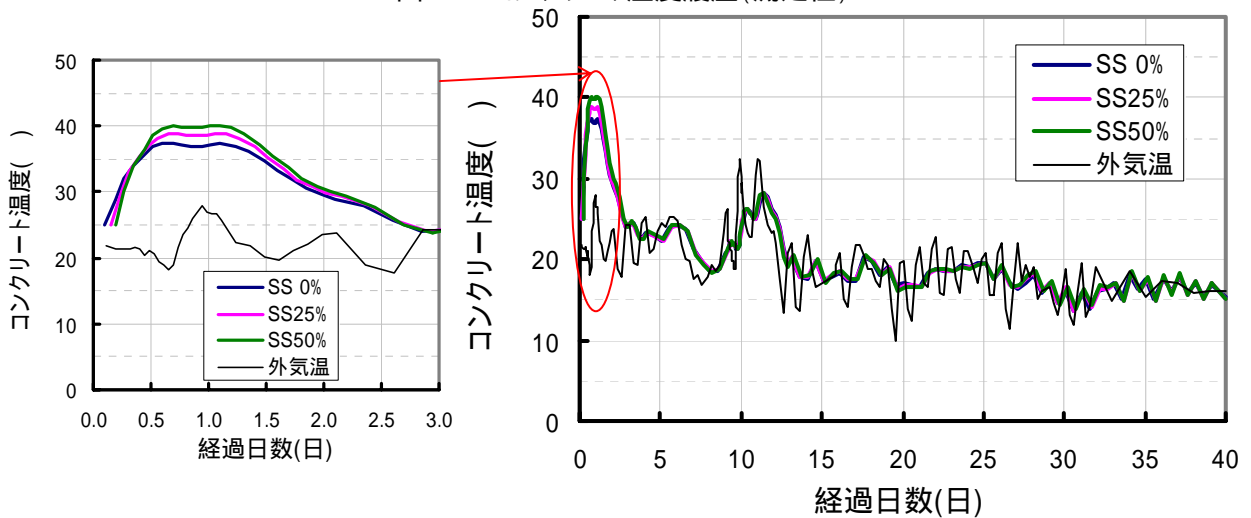


図 4-9 コンクリート温度履歴（解析値）



写真 4-11 シェルコンクリート打設状況(1リフト)



写真 4-12 シェルコンクリート打設状況(2リフト)



写真 4-13 シェルコンクリートの状況 (SS25%)



写真 4-14 シェルコンクリートの状況 (SS25%)



写真 4-15 打継ぎ部からのコア採取状況



写真 4-16 ケーソン模擬供試体全景

参考資料

1. ホタテの生産量

1.1 全国生産量

全国のホタテ生産量を図 1-1 に、年度別ホタテ水揚げ量を表 1-1 にそれぞれ示す。生産量と水揚げ量とで数値の取り扱いが若干異なるものと考えられるが、平成 17 年度におけるホタテ水揚げ量は全国で年間約 46 万 t、うち北海道が約 36 万 t、青森県が約 8 万であり、これら 2 道県で全体の約 98%を占めている。また、図 1-2 からホタテ重量の約 50%が貝殻と考えられることから、ホタテ貝殻の年間発生量は約 23 万 t と推測される。

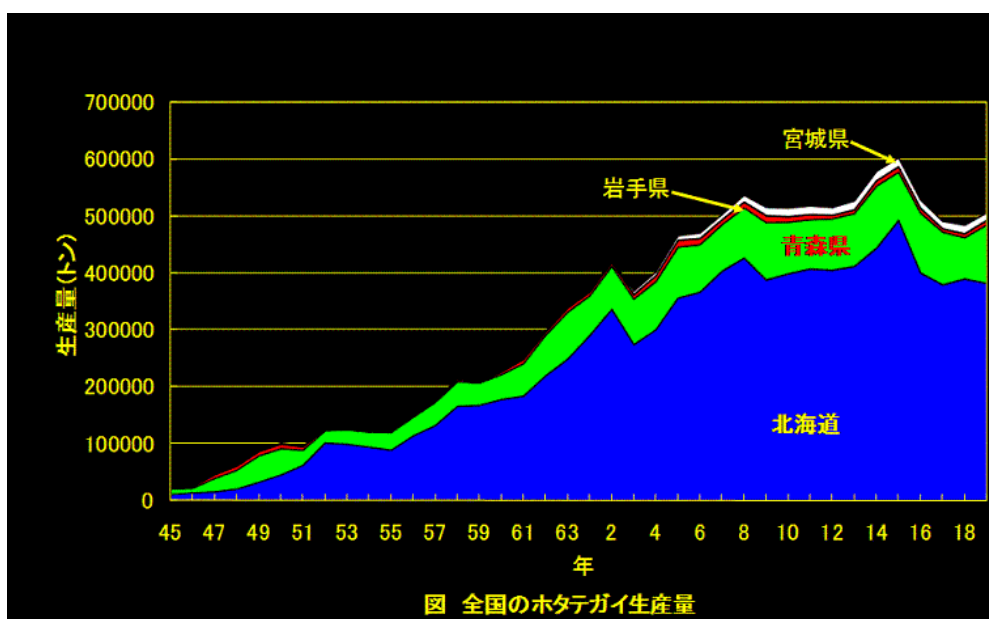


図 1-1 全国のホタテ生産量

(出典：青森県水産総合研究センター増養殖研究所 HP)

表 1-1 年度別ホタテ水揚げ実績

年度	総数	北海道	青森県	岩手県	宮城県
H10	481,403	382,039	78,300	9,201	11,863
H11	476,757	384,528	72,426	7,401	12,402
H12	500,971	404,452	80,406	4,787	11,272
H13	516,791	415,898	80,964	6,678	13,251
H14	569,135	451,514	94,528	8,542	14,551
H15	542,840	450,654	71,580	8,272	12,334
H16	501,578	387,049	95,119	7,413	11,997
H17	458,163	358,561	83,287	5,209	11,106

(青森漁連資料をもとに作成)

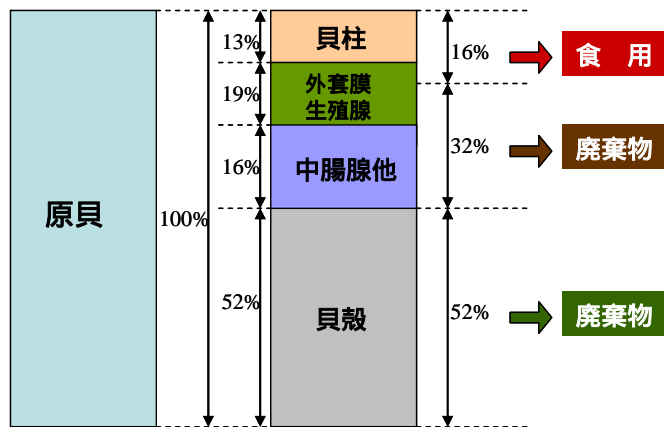


図 1.2 ホタテの構成区分 (数字は重量比)

1.2 青森県のホタテ実績

青森県の組合別共販実績を図 1.3 に示す。これらの図表から青森県のホタテの約 46%を平内町が取り扱っていることが分かる。

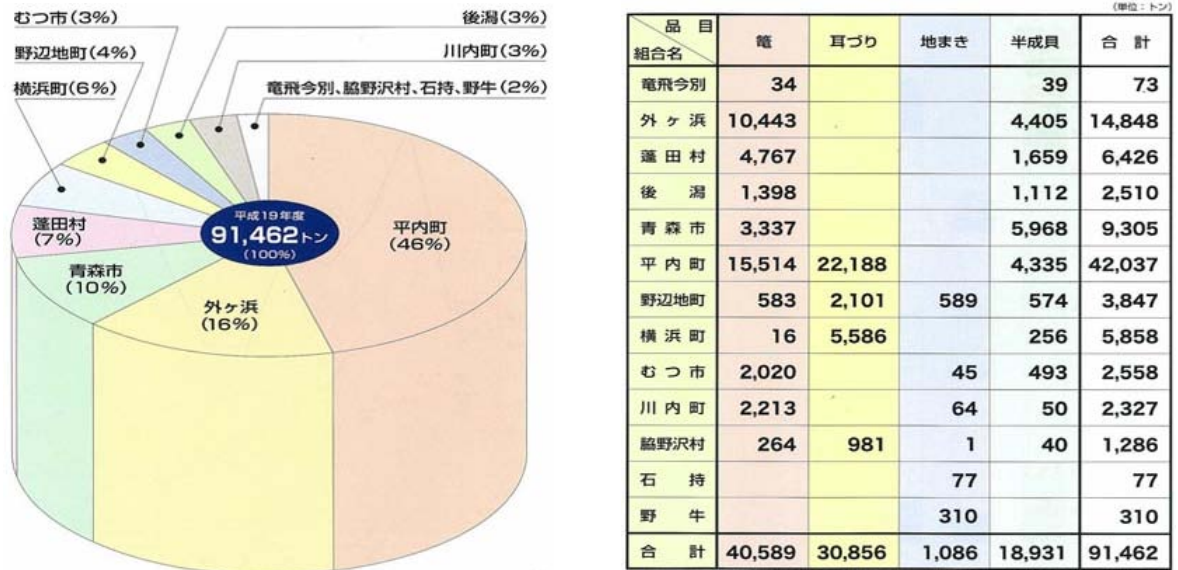


図 1.3 平成 19 年度における青森県内組合別共販実績

(出典：青森漁連 HP)

2. 「廃棄物の処理および清掃に関する法律」における産業副産物の有効利用方法

一般的な有用物及び産業廃棄物の廃棄物処理法上の取り扱いを図 2-1 に示す。ホタテ貝殻の利用では、ホタテ貝殻の取引状況を確認して、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」を遵守しなければならない。

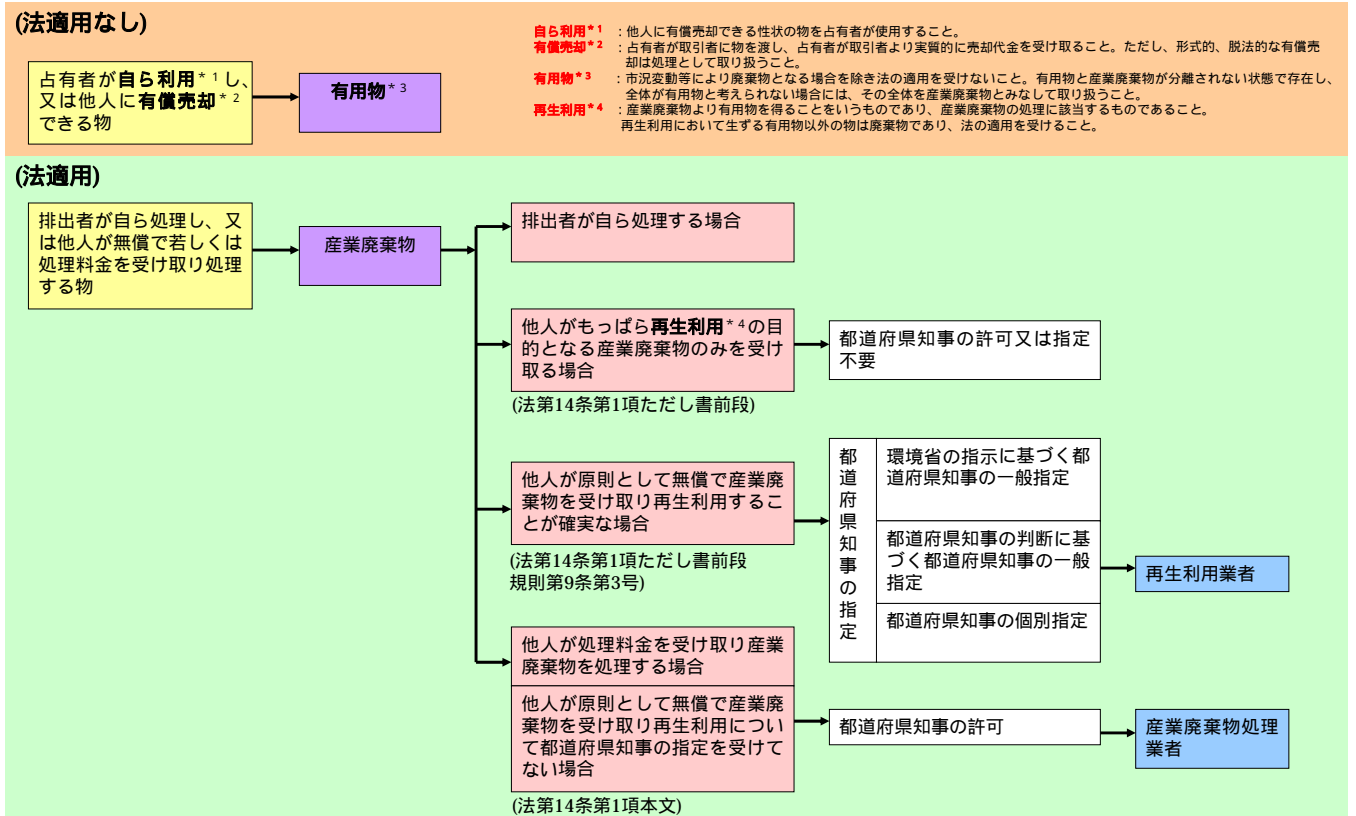


図 2-1 有用物及び産業廃棄物の廃棄物処理法上の取り扱い

(出典:大成出版社「建設汚泥リサイクル指針」中の図を一部加筆)

3. シェルコンクリートの特許

審査請求された特許は無い。