

報告 石膏を添加した増粘剤系高流動コンクリートの密閉空隙充填への適用

末岡 英二^{*1}・中村亮太^{*2}・佐野清史^{*3}・福手 勤^{*4}

要旨：密閉空隙充填を対象として、高流動コンクリートの適用性を検討した。高流動コンクリートへの要求性能として高い充填性、ノンブリーディング性、収縮低減性が考えられ、そのための仕様として石膏や高炉スラグ微粉末を添加した増粘剤系高流動コンクリートとした。室内実験による本コンクリートの基本特性検討、および実物大モデルでの充填性や品質の調査を行い、本仕様での高流動コンクリートの密閉空隙充填への適用性を確認した。

キーワード：高流動コンクリート、増粘剤、石膏、密閉空隙充填、高炉スラグ微粉末

1. はじめに

高流動コンクリートの適用対象の一つとして密閉空隙への充填が上げられる。今回筆者らは、密閉空隙となる栈橋におけるプレキャスト上部工と基礎杭の接合部を対象として、増粘剤系高流動コンクリートの適用性を検討した。このような箇所には無収縮モルタル等を適用する 경우가多いが、接合部断面が大きい場合はせん断抵抗性や経済性を考慮する必要があるため、高流動コンクリートの適用を検討した。接合部の一体化のための要求性能の一つに収縮低減性が考えられる。その目的のためには、通常無収縮材や膨張材等が使用されるが、高流動コンクリートの流動性や充填性に比較的影響を及ぼさず、適度な膨張性を付与できるものとして安価な石膏の使用を検討した。室内実験で基本物性や石膏添加による膨張性を調査検討の上配合を選定し、充填性や施工性および品質等の確認の目的で実物大モデルでの充填実験を行った。この実験では、施工を想定して海上からコンクリートプラント船によりコンクリートの製造および打設を行った。本稿はこれら室内実験と実物大モデル実験の結果を報告するものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

使用材料を表-1に示す。混和剤は増粘剤および高性能AE減水剤を用いた。今回用いた細骨材の粗粒率が大きいことや、関西地区の海砂を用いた場合、高い流動性を確保するためには比較的多くの単位水量を必要とし、間隙充填性の指標の一つであるVロート流下時間が遅くなることから[1]、高い流動性や充填性を確保するために有効な高炉スラグ微粉末で細骨材の一部を置換した[2]。また、収縮低減のために用いた石膏はセメントのC₃Aと反応して膨張性のエトリンガイトを生成することが知られており、異常膨張を起こさない程度の添加量であれば、コンクリートの品質に影響を与えることなく、硬化初期の収縮低減効果は十分発揮できると考えた。なお、実

*1 東洋建設（株）鳴尾研究所材料研究室主任研究員、工修

*2 東洋建設（株）大阪本店神戸営業所

*3 東洋建設（株）鳴尾研究所材料研究室長

*4 運輸省港湾技術研究所構造部材料研究室長、工博

物大モデル実験で使用したセメント、高炉スラグ微粉末、石膏はプレミックスされたものを使用した。

2. 2 室内実験

室内実験では所要の性能を満足できるコンクリートの配合を検討し、基本特性を調べた。試験項目を表-2に示す。コンクリートの練混ぜは容量100ℓのパン型ミキサを使用し、練混ぜは図-1の手順で行った。実物大モデル実験もこの練混ぜ手順を踏襲した。室内実験での環境温度は標準的な20℃とした。

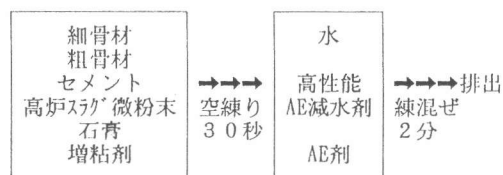


図-1 練混ぜ手順

2. 3 実物大モデル実験

実物大モデルとしてプレキャストの上部工と基礎杭の接合部をモデル化し、モデル体にコンクリートを充填することにより、充填性や施工性および品質等を確認した。モデル体として、図-2、3に示す凸型の鞘箱部および円形の鞘管部の2種類の密閉した鋼製型枠を作製した。鞘箱部には直杭3つ、斜杭1つを配置し、ずれ止めプレートやL形鋼およびH形鋼も取付けた。鞘管部にも直杭1つおよびH形鋼やずれ止めプレートを設置した。また、空気孔は鞘箱部で1箇所、鞘管部で2箇所設け、それぞれそのうちの1箇所を打設孔とした。最大水平流動距離は約8mである。充填性は、上面型枠および側面型枠の一部の亚克力板からの目視や、型枠内に設置したCCDカメラおよびスタッフによる高さ測定によって確認した。また、硬化コンクリートの品質の評価はモデル体からのサンプリングコアをφ100×200mmにカッティングして行った。コンクリートの製造は施工を想

表-1 使用材料

種類	仕様
セメント	普通ポルトランドセメント 比重:3.15、比表面積:3,320cm ² /g
混和材	高炉スラグ微粉末 比重:2.92、比表面積:5,500cm ² /g 無水石膏 SO ₃ 量:57.2% 比重:2.92、比表面積:4,260cm ² /g
細骨材	岡山県大瀬海域産海砂 比重:2.55、吸水率:2.20%、F.M.:2.92 実績率66.0%
粗骨材	兵庫県赤穂市産碎石 比重:2.61、吸水率:0.94%、F.M.:6.63 実績率58.8%
混和剤	増粘剤:低界面活性型水溶性セルロースエーテル 2%水溶液粘度 10,000cp 高性能AE減水剤:ポリアルキルカルボン酸エーテル系 AE剤:変性アルキルカルボン酸化合物

表-2 試験項目

試験項目	試験方法
スランプフロー試験	土木学会基準「コンクリートのスランプ・フロー試験方法(案)」に準ずる
Vロート試験	文献3)による(流出口 7.5×6.5cm)
U型充填試験	文献3)による(鉄筋本数3本)
空気量試験	JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法」による
フリーディング試験	JIS A 1123「コンクリートのフリーディングの試験方法」に準じて行う
凝結試験	JIS A 6204「コンクリートの凝結時間試験方法」に準ずる
膨張量試験	文献3)に準ずる
圧縮強度試験	JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」による 供試体の作成は、JIS A 6202「コンクリート膨張材」に記載されている拘束養生方法による

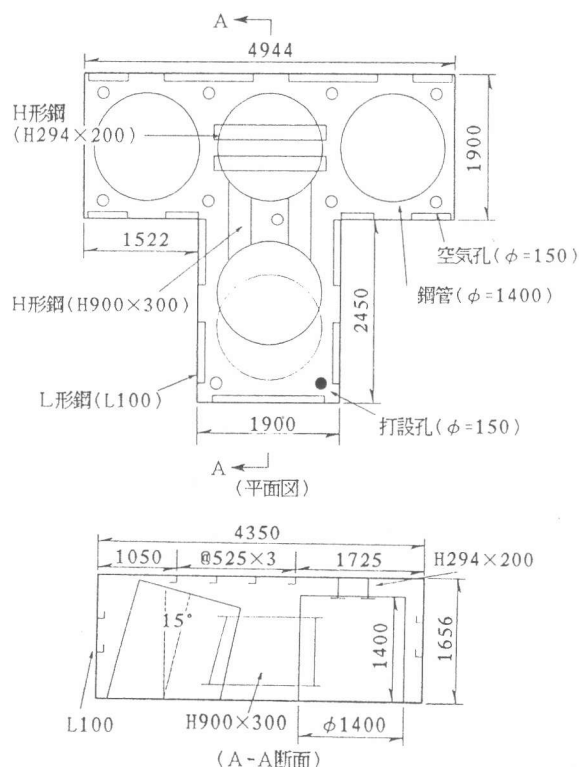
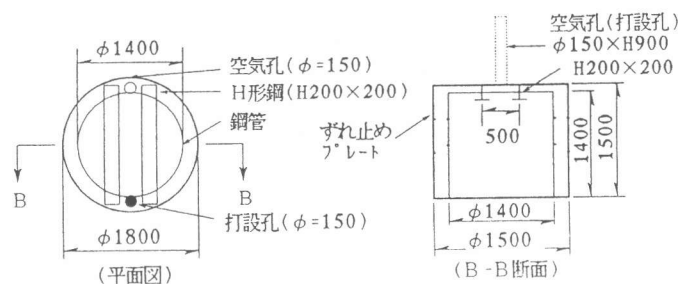


図-2 鞘箱部モデル体概略図

定して海上のコンクリートプラント船で行い、打設はコンクリートプラント船のポンプを用いて、ディストリビューターで打込んだ。コンクリートプラント船のミキサは容量 3 m³ の強制二軸パグミル型であり、1 バッチの練混ぜ量は 2.5 m³ とした。



図－3 鞘管部モデル体概略図

3. 室内実験結果および考察

3. 1 コンクリートの配合とフレッシュ時の性状

室内実験の結果、要求品質にかなうものとして選び出した高流動コンクリートの配合を表－3に示す。この配合はフレッシュ

表－3 コンクリートの配合

空気量 (%)	水粉体 比 (%)	水結合 材比 (%)	細骨材 率 (%)	単位量 (kg/m ³)							
				水	セメント	スラグ	石膏	細骨材	粗骨材	増粘剤	高性能AE減水剤
4.5	40.3	43.4	50.0	180	328	87	33	806	822	W×0.2%	P×1.8%

粉体 (P) : セメント+スラグ+石膏、結合材 : セメント+スラグ

コンクリートや硬化コンクリートの試験結果から定めたものである。配合抽出において指標としたフレッシュコンクリートの試験の目標値および試験結果を表－4に示す。この目標値は、今回の構造物に類似したフルサンドイッチ構造への高流動コンクリート適用実験結果[4]を参考にして定めた。水セメント比は必要強度から設定し、単位水

表－4 試験の目標値および試験結果

試験項目		試験目標値	試験値
スランプフロー試験	広がり	65 ± 5 cm	66.5 cm
	50cm到達時間	10秒以下	6.5秒
Vロート試験	充填直後	20秒以下	10.4秒
	充填後5分静置	—	14.1秒
空気量試験		4.5 ± 1.5 %	4.8 %
フリーディング試験		なし	なし
凝結試験	始発	—	11.1 hr
	終結	—	14.4 hr

量は 180 kg/m³ に固定した。増粘剤添加量は本増粘剤の標準的な値である単位水量の 0.2 % とした。高炉スラグ微粉末添加量は、既往の知見[2]や充填性の評価により 30 l/m³ とした。石膏の添加量は以下に示す膨張量および強度試験結果から設定した。高性能 AE 減水剤添加量は目標スランプフローを満足するように決定した。

3. 2 硬化コンクリートの特性

材齢と長さ変化率の関係を図－4に示す。試験は気中封かん養生と水中養生で行った。気中封かん養生したものは、密閉空隙に打込まれたものとして評価できる。水中養生したものはエトリンガイトの生成に必要な水の供給が十分であるため、長さ変化率の収束の有無により石膏の適正添加量を決定する上での指標となった。水中養生において石膏およびセメント中の SO₃ 量が、結合材量の 8 % のものは材齢 20 日でも膨張が収束せず、圧縮強度も図－5に示すように他のものに比較して材齢 28 日で 30 % 程度小さかった。また、気中封かん養生したものは、SO₃ 量が結合材量の 4 % 以下のものは顕著な膨張性を示さないが、6 % 以上のものは膨張性を示した。これらの試験結果からコンクリートの品質に影響を及ぼさず、適度な膨張性を示す SO₃ 量は結合材の 6 % が適当であることがわかった。この場合、長さ変化が膨張側となるのは材齢 10 日程度までであり、それ以降はコンクリートの自己収縮により収縮側に移行したが、収縮側に移行する材齢

は十分強度発現した後であり、ずれ止めプレート等やシアコネクタ（L形鋼）が設置されていることもあり、構造上は問題ないと考えられた。

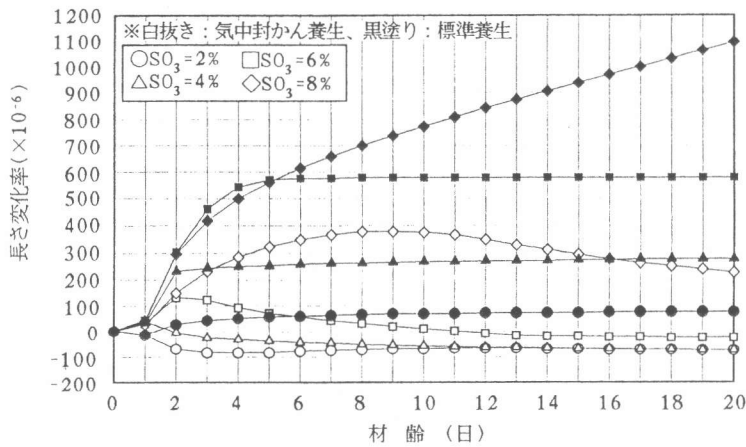


図-4 材齢と長さ変化率の関係

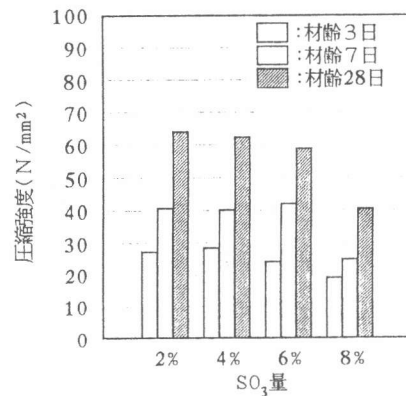


図-5 SO_3 量と圧縮強度の関係

4. 実物大モデル実験結果および考察

4. 1 製造および打設状況

細骨材表面水率はサンドスタビライザーにより調整したこともあり、5.7～6.3%の範囲で非常に安定していた。

実物大モデルへのコンクリートの打設量は22.5 m^3 (2.5 $m^3 \times 9$ ハッチ)であり、打設速度やコンクリートの製造から打込みまでの時間をそれぞれ図-6、7に示す。

前者は鞘箱部で約15 m^3/hr 、鞘管部で約10 m^3/hr 程度であ

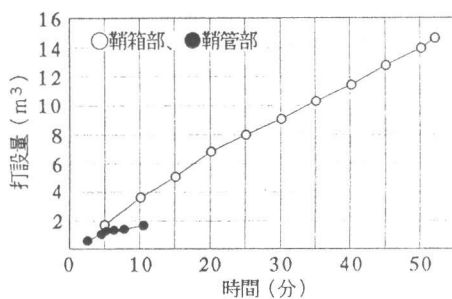


図-6 コンクリートの打設速度

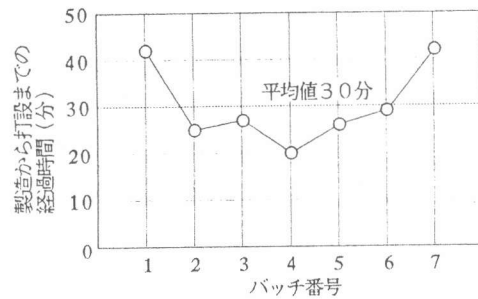


図-7 コンクリートの製造から打込みまでの時間

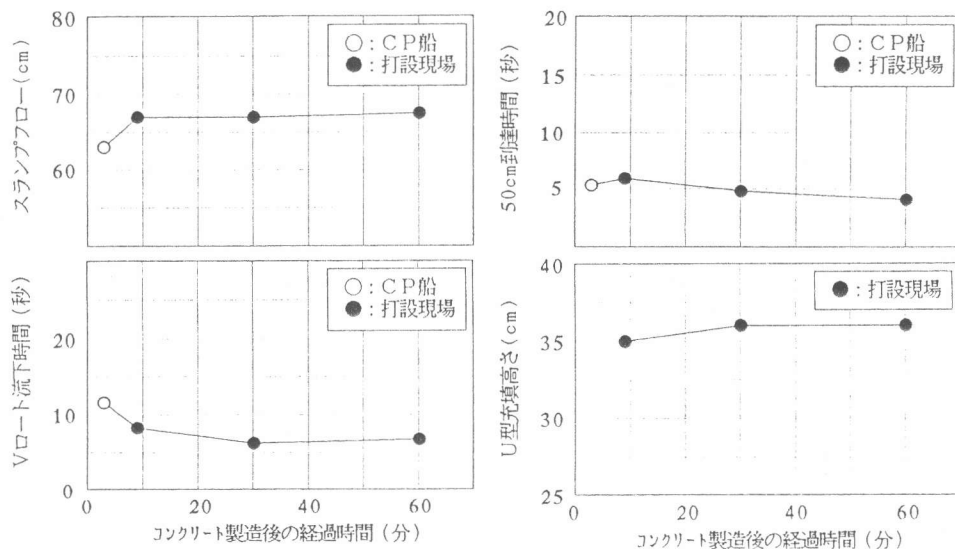


図-8 コンクリートの流動性や充填性の時間変化

った。後者は20～40分(平均30分)であり、製造後30分程度の品質保持が必要とされた。

4. 2 コンクリートの品質

実物大モデルへの充填実験に先だって調査したコンクリートの流動性や充填性の時間変化を図-8に示す。これらの試験で用いたコンクリートはコンクリートプラント船で製造された後、アジテータ車で所定の時間まで攪拌された。いずれの試験結果も製造後60分間は目標値を満足し、コンクリートの製造から打込みまでの時間が概ね30分であったことから、十分な品質保持性能を有することがわかった。充填実験時のフレッシュコンクリートの品質試験結果を表-5に示す。

表-5 フレッシュコンクリートの品質試験結果

練混ぜ バッチ	スランブ フロー (cm)	50cm 到達時間 (秒)	Vロート 流下時間 (秒)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (℃)
1	64.5	4.2	10.9	4.6	26.5
3	63.5	5.3	9.8	4.7	27.0
5	65.5	5.6	11.4	4.6	27.0
7	69.5	4.3	6.6	4.8	27.0
9	60.0	5.1	11.9	5.5	27.0

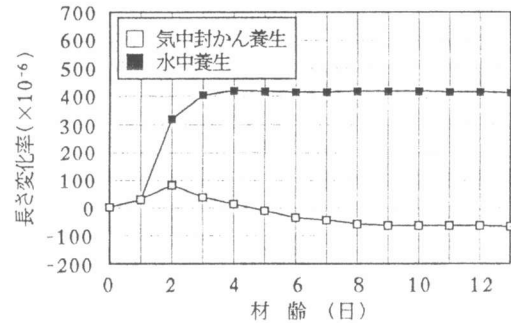


図-9 材齢と長さ変化率の関係(実物大モデル実験)

コンクリートの配合は概ね室内実験と同じであったが、所要の流動性を確保するために高性能AE減水剤添加量が粉体量の2.5%必要であった。図-9にコンクリートの材齢と長さ変化率の関係を示す。室内実験時に比較して若干膨張量が小さかったが、硬化初期の収縮補償は満足できた。これら室内実験との違いの原因として実物大モデル実験時のコンクリート温度が27℃程度と室内実験時の20℃に比べて高かったことや、ミキサ型式や大きさによる練混ぜ効率の違いが考えられた。

4. 3 モデル体への充填性

鞘箱モデルでは打上がり面は5～10cmの高低差を保ちながらほぼ均等に打ち上がった。最終的には全ての空気孔にコンクリートが打上がり、所要の品質を満足する高流動コンクリートであれば、十分充填出来ることがわかった。図-10に上面の残留気泡の状況を示す。残留気泡の平均深さは5mm程度であり、その面積比は鞘箱モデルで3%程度、鞘管モデルで1%程度であり、設計上問題となる大きさではなかった。

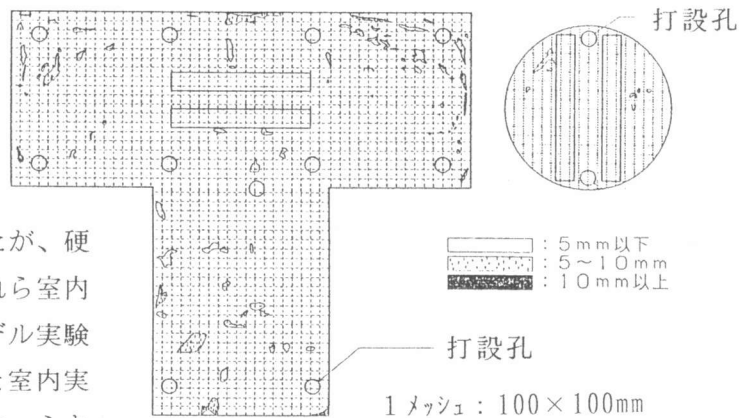


図-10 モデル体上面の残留気泡状況

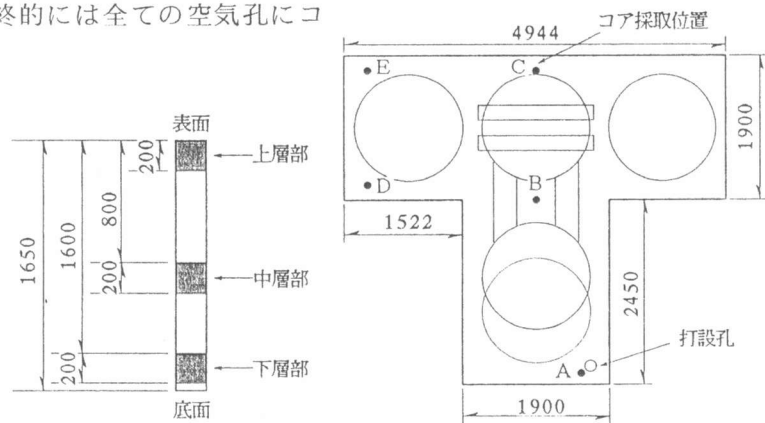


図-11 コア採取位置

4. 4 モデル体の品質

コアサンプリングの採取位置および品質をそれぞれ図-11、12に示す。圧縮強度や粗骨材面積率において表層部で若干の低下が見られ、どの項目も流動距離が長くなると品質が若干低下する傾向にあった。しかし、圧縮強度や弾性係数、および単位容積質量の変動係数は比較的小さく、粗骨材面積率の変動係数は若干大きい、そのばらつきは過密配筋部材への適用性を調べた既往の実験結果[5]に比較しても少なかった。

5. まとめ

今回の実験から、石膏を高流動コンクリートに添加することによって、高流動コンクリートの性状や品質に比較的影響を与えることなく、硬化初期の収縮補償が可能であった。ただし、その効果は石膏の添加量や環境温度によって左右されるため、長さ変化率の測定などにより適切な添加量を定める必要があった。また、本仕様を満足する高流動コンクリートの密閉空隙充填への適用性が確認できた。コンクリートプラント船を用いて高流動コンクリートを製造・打設した場合、短時間での打込みが可能であり、フレッシュコンクリートの性状の保持には有利であった。

なお、本稿での実物大モデル実験は、運輸省港湾技術研究所と民間会社11社の共同研究（省力化施工・高信頼性コンクリート研究会）として実施したものである。また、実験に御協力いただいた新日鐵化学(株)、(株)ポゾリス物産、信越化学工業(株)、寄神建設(株)の方々に深謝致します。

参考文献

- [1] 金井浩之、末岡英二、佐野清史、浜田秀則：増粘剤系高流動コンクリートの配合設計に関する研究-その1:コンクリートのフレッシュ性状について、土木学会第50回年次学術講演概要集第5部、pp. 109-1091、1995. 9
- [2] 中村亮太、輪湖建雄、鈴木雄三、佐藤正一：細骨材の粒度の相違が高流動コンクリートの性状に及ぼす影響について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 17, No. 1, pp. 111-116、1995. 6
- [3] 日本コンクリート工学協会：超流動コンクリート研究委員会報告書(Ⅱ)、p. 101, p. 104, pp. 209-210、1994. 5
- [4] 本庄隆宣、輪湖建雄、鈴木雄三、佐藤正一：沈埋トンネル・フルサンドイッチ構造部への充填を対象とした増粘剤系高流動コンクリートの諸特性について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 17, No. 1, pp. 197-202、1995. 6
- [5] 佐野清史、福手勤、守分敦郎、濱崎勝利：増粘剤を用いた省力化施工コンクリートの過密配筋部材への適用性について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 16, No. 1, pp. 141-146、1994. 6

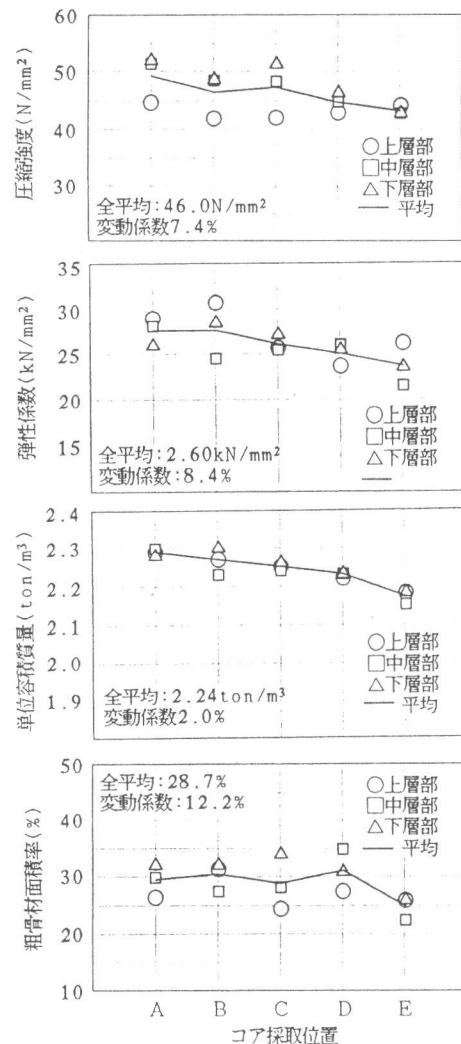


図-12 サンプルングコアの品質