

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560539

研究課題名(和文) 骨材の粒度分布を合理的に考慮できるコンクリートの調合設計法の確立

研究課題名(英文) Establishment of mix design method of concrete considering reasonably aggregate grading

研究代表者

寺西 浩司 (TERANISHI KOHJI)

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：30340293

研究成果の概要(和文)：骨材の粒度分布を合理的に考慮できるコンクリートの調合設計法の構築を目的とした検討を行った。その結果、①細骨材の粒度分布の変動は、JIS標準粒度の範囲内であっても、コンクリートの流動性および分離抵抗性に大きな影響を及ぼすことを明らかにした。また、②これらの影響をコンクリートの調合の調整により制御する方法を整備した。さらに、③骨材の粒度分布からの実積率の推定式を構築し、骨材充填シミュレータを開発した。

研究成果の概要(英文)：The investigation to establish the mix design of concrete considering reasonably aggregate grading was conducted. In consequence, (1) it was clarified that the variation of grading of fine aggregate within the range specified in JIS has a great effect on the fluidity and the segregation resistance of concrete. Additionally, (2) the method to control these effects by adjusting mix proportion of concrete was prepared. Furthermore, (3) the equation to estimate solid content from grading of aggregate was constructed and the aggregate filling simulator was developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：フレッシュコンクリート、調合、レオロジー、流動性、骨材、粒度分布、実積率、粒形

1. 研究開始当初の背景

我が国では、現在、骨材は細骨材と粗骨材に区分されている。そして、調合の設定にあたっては、コンクリートのワーカビリティが適正になるように、試し練りにより試行錯誤的に細骨材率を調整している。すなわち、細粗混合骨材の粒度分布を調整している。しかし、骨材の粒度分布とコンクリートのワー

カビリティの関係は未だ定量的に把握されておらず、そのことが調合設計の過程において経験と勘に頼る部分を残し、所定のワーカビリティを得るための試し練りを省略できない原因の一つとなっている。また、骨材の粒度分布の設定の原則は、「コンクリートのワーカビリティを確保したうえで、骨材量を最大化する(または、ペースト量を最

小化する)」ことであると考えられるが、上記の調合設計の手順において、このことは明確ではない。この原則に則した骨材の粒度分布を設定することは、乾燥収縮・自由収縮、クリープや水和熱の低減、あるいはヤング係数の増大などの観点から、重要な課題であるといえる。

さらに、高強度・高流動コンクリートなどの場合、現状の調合設計法において、骨材に関する調合条件（細骨材率または粗骨材かさ容積、骨材量など）を定めるための根拠が曖昧である。この点に関しても、使用骨材の粒度分布を考慮したうえで、フレッシュコンクリートの粘性や分離抵抗性などとの関係から調合条件を定めるような設計手法の確立が必要である。

2. 研究の目的

- (1) 骨材（細粗混合骨材）の粒度分布とフレッシュコンクリートの流動性およびレオロジー性質の関係を把握する。その際、研究の第1段階では、一般的なコンクリートを対象とし、第2段階で、高強度・高流動コンクリートなどの新しいタイプのコンクリートを対象とする。
- (2) 骨材の粒度分布から実積率を推定する方法（推定式の構築または数値シミュレーション手法の開発）を確立する。
- (3) 骨材粒形と実積率およびフレッシュコンクリートの流動性の関係を把握する。
- (4) レディーミクストコンクリート工場における骨材の粒度分布の変動を調査する。
- (5) 上記研究成果を踏まえたコンクリートの調合設計法および品質管理法を提案する。
- (6) 日常的な品質管理試験に適用可能な簡易な骨材のふるい分け試験装置を開発する。

3. 研究の方法

(1) 骨材の粒度分布とフレッシュコンクリートの流動性およびレオロジー性質の關係の検討（一般的なコンクリートの場合）： 研究の第1段階として、まず、ごく一般的なコンクリートを対象とした2つのシリーズの実験を行った。本実験では、表-1および2に示すような実験要因および水準を設定してコンクリートを練り混ぜ、流動性試験（スランプおよびスランプフロー試験）、レオロジー試験（回転翼型粘度計による試験）、分離抵抗性試験（円筒貫入試験）などを実施した。同時に、コンクリートに使用する細骨材と粗骨材の混合骨材に対して実積率試験（JIS A 1104）を行った。そして、得られた実験結果を Kennedy の余剰ペースト膜厚理論により考察した。具体的には、まず、骨材（細粗混合骨材）の実積率、平均寸法および骨材量から骨材分散距離を計算し、それとコンクリートの流動性およびレオロジー性質との関係性

を調べた。次に、骨材に関する各種パラメータがコンクリートの流動性およびレオロジー性質に及ぼす影響を、骨材分散距離を指標として検討した。

表-1 実験要因とその水準（実験1）

要因	水準
細骨材の粒度分布	JIS規格値の上限 (F), 下限 (c)
粗骨材の粒度分布	JIS規格値の上限 (F), 下限 (C)
細骨材率 (%)	30, 45, 60
骨材体積比 (%)	60, 65

表-2 実験要因とその水準（実験2）

要因	水準		
細骨材の粒度分布	JIS規格値の上限 (F), 下限 (c)		
細骨材率 (%)	40, 50		
水結合材比 (%)	25	40	55
単位水量 (l/m ³)	150, 165	170, 185	175, 190

(2) 骨材の粒度分布とフレッシュコンクリートの流動性およびレオロジー性質の關係の検討（高強度コンクリートの場合）： 高強度コンクリートを対象として、上記(1)と同様の主旨の実験を行った。そして、使用骨材の粒度分布から高強度コンクリートの流動性やレオロジー性質を推定する方法を検討した。

(3) 骨材の粒度分布から実積率を推定する方法の確立： 上記(1)または(2)により、骨材に関するパラメータ（実積率、平均寸法および骨材量）とフレッシュコンクリートの流動性などの関係が把握できたとしても、骨材（細粗混合骨材）の粒度分布から実積率を推定できる手段がないと、フレッシュコンクリートの流動性などを机上の計算により予測することはできない。しかし、細粗混合骨材の実積率は細骨材率によって変化するので、これをいちいち試験により測定することは現実的ではない。これらのことから、骨材の粒度分布から実積率を推定する方法を次の2つのアプローチにより検討した。

①実積率の推定式の構築： 粒子の粒度分布と実積率を関係付ける理論式や経験式については、建築分野のほかに粉体工学の分野でもこれまでに検討されている。しかし、これらは、2成分かまたは多くても3成分の粒子を対象としたものであり、コンクリート用骨材のように多成分の粒子から成る骨材に対しては適用できない。これらのことから、粒度分布を様々に変化させた骨材を対象として実積率試験を行い、粒度分布と実積率の関係を調べた。そして、これらのデータを基にして、両者を関係付ける理論式または経験式の構築のための検討を行った。

②数値シミュレーション手法の構築： 骨材の実積率を推定するための第2の方法として、コンピューターによる骨材の充填シミュレーションについて検討した。研究代表者は、これまでに、既に、2次元のシミュレーションプログラム（直径の異なる円を四角形の領

域の中に隙間なく積み上げていくようなプログラム)を作成している。本研究では、このプログラムを3次元に拡張し、現実の骨材の実積率試験の状況をシミュレートできるように発展させることを検討した。

(4) 骨材の粒形と実積率およびフレッシュコンクリートの流動性の関係の検討：骨材の粒形は実積率、ひいてはコンクリートの流動性などに対して大きな影響を及ぼす。そこで、川砂・川砂利、砕砂・砕石などの粒形の異なる骨材を対象として、その粒子形状を投影法などにより数値化することを検討した。また、実積率試験を行い、骨材の粒形が実積率に及ぼす影響を調べた。さらに、これらの骨材を用いてモルタルやコンクリートを練り混ぜ、骨材粒形がこれらの流動性などに及ぼす影響を調べた。

(5) レディーミクストコンクリート工場における骨材の粒度分布の変動の調査：市中のレディーミクストコンクリート工場に対してアンケートを実施するとともに、工場常備の細骨材および粗骨材の粒度分布の日内変動の実態を調査した。

4. 研究成果

(1) 骨材の粒度分布とフレッシュコンクリートの流動性およびレオロジー性質の関係 (一般的なコンクリートの場合)：細・粗骨材の粒度分布、細骨材率、骨材量、ならびに水結合材比を変化させてコンクリートを練り混ぜ、回転翼型粘度計試験、スランプ試験、円筒貫入試験 (分離抵抗性試験) などを行った。その結果から次のことを明らかにした。すなわち、①細骨材の粒度分布の変動は、JISの標準粒度分布の範囲内であっても、コンクリートの降伏値および分離抵抗性に大きな影響を及ぼす (図-1、凡例中の記号は表-1を参照)。また、これらの影響は、セメントペーストの性質が同一であれば、余剰ペースト膜厚理論に基づく骨材分散距離によって評価できる (図-2)。②コンクリートの塑性粘度に対しては、細骨材の粒度分布などよりも、セメントペーストの性質のほうが大きな影響を及ぼす (図-3)。

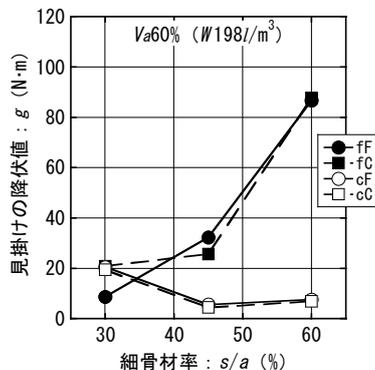


図-1 見掛けの降伏値と細骨材率の関係

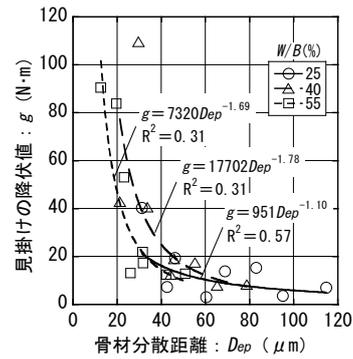


図-2 見掛けの降伏値と骨材分散距離の関係

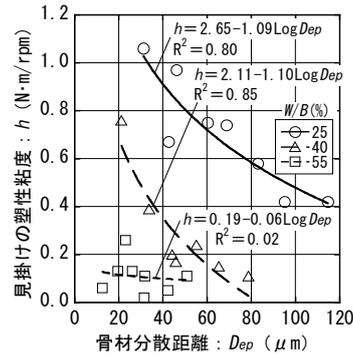


図-3 見掛けの塑性粘度と骨材分散距離の関係

(2) 骨材の粒度分布とフレッシュコンクリートの流動性およびレオロジー性質の関係 (高強度コンクリートの場合)：細骨材の粒度分布および細骨材率を変化させて高強度コンクリートを練り混ぜ、その流動性、レオロジー性質、分離抵抗性などを調べた。その結果から次のことなどを明らかにした。すなわち、①高強度コンクリートの流動性に対する骨材の粒度分布の影響は、普通コンクリートの場合と同様に、骨材分散距離によって概ね評価できる可能性が高い。②高強度コンクリートの場合、細粗混合骨材の粒度分布が分離抵抗性に敏感に影響する。

(3) 骨材の粒度分布から実積率を推定する方法：試験を行わずに骨材 (細粗混合骨材) の粒度分布から実積率を推定する方法を次の2つのアプローチにより検討した。

①重回帰に基づく実積率推定式：研究代表者らによる試験データと、過去に文献等に報告されている試験データを用い、実積率を目的変数、粒度分布を説明変数とした重回帰分析を行った。そして、細粗混合骨材の実積率を、単一粒度の効果と2つの粒度の組合せの効果により表す次の推定式を得た。

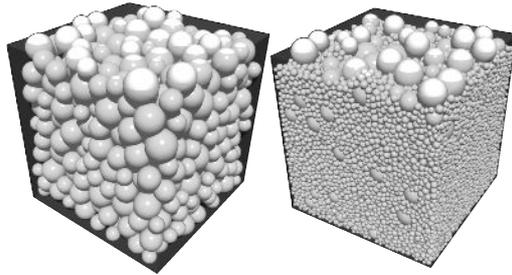
$$S = 61.1 + \sum_{i=2}^9 \{-0.013(i-1)V_i\} + \sum_{i=2}^8 \sum_{j=i+1}^9 \left\{ 0.0014 \left(\log_2 \frac{D_i}{D_j} \right) V_i V_j \right\}$$

ここに、 S ：実積率 (%), V_i, V_j ：質量百分

率 (%), D_j , D_i : 骨材粒径 (mm), i, j : 20~25mm の粒度から粒径の小さい方へ数えた粒度の順番 ($i > j$ とする)。

また、この推定式により細粗混合骨材の実積率を比較的高い精度で推定可能であることを確認した。

②骨材充填シミュレータ: 骨材の実積率試験をコンピューター上で再現し、実積率を計算するようなシミュレータを開発した (図-4)。そして、このシミュレータにより球形骨材の実積率を精度よく計算できることを確認した。



(a) 単一粒度の場合 (b) 2 粒度の場合

図-4 シミュレーション結果の一例

(4) 骨材の粒形が実積率およびフレッシュコンクリートの性質に及ぼす影響: まず、細骨材のみに着目し、その粒形や転がり易さなどの評価指標について検討した。また、それらの指標とモルタルの流動性との関係を調べた。その結果、①広い範囲で見ると、細骨材の粒形が丸みを帯びているほど、実積率は高くなり、それをういたモルタルの流動性が高くなる、②細骨材の粒形は、粒子の転がり易さの測定によってもある程度評価できる可能性がある、などの知見が得られた。次に、本研究では、検討対象を拡大し、細粗混合骨材の粒形を評価し、その結果とフレッシュコンクリートの流動性やレオロジー性質、分離抵抗性との関係を調べた。その結果、①細粗混合骨材の粒形が丸みを帯びるほど、コンクリートの流動性は高くなり、分離抵抗性は低くなる (図-5)、②細粗混合骨材の粒度分布が一定の条件下では、その粒形は実積率に対して直接的な影響を及ぼし、粒形がコンクリートの流動性に及ぼす影響は、骨材分散距離により骨材量などの影響と合わせて評価できる、などの知見を得た (図-6)。

(5) レディーミクストコンクリート工場における骨材の粒度分布の変動: レディーミクストコンクリート工場 3 社を対象として、細骨材および粗骨材の粒度分布の日内変動の実態を調査した。その結果、工場によっては、日内に、細骨材の粗粒率が一定の傾向で変動するケースがあるなどの結果を得た (図-7)。

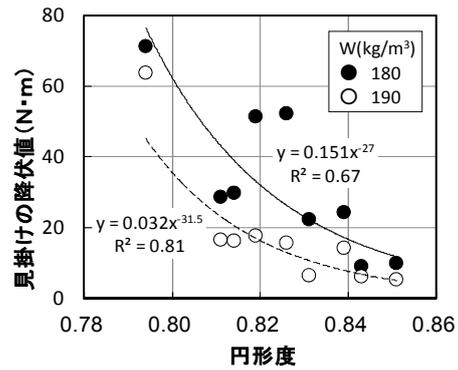


図-5 見掛けの降伏値と骨材の円形度の関係

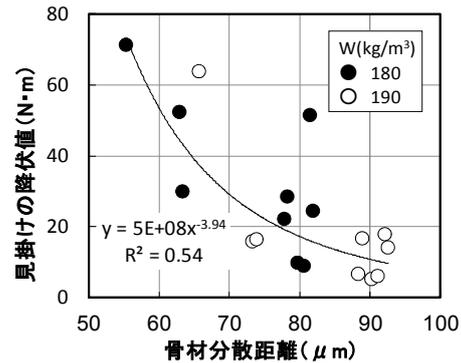


図-6 見掛けの降伏値と骨材分散距離の関係

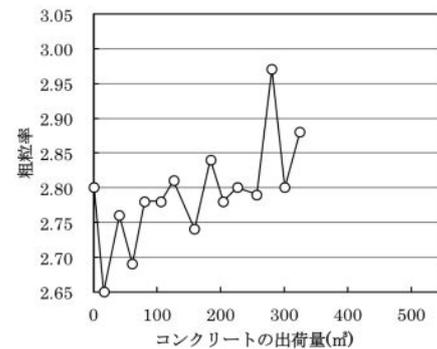


図-7 細骨材の粗粒率の日内変動の測定例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

- ① 藤田輝尚, 寺西浩司, 小倉誠也, 野中寛之: 骨材の粒形が実積率およびフレッシュコンクリートの性質に及ぼす影響 (その 2. 細骨材の粒形がモルタルの流動性に及ぼす影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, 2011. 8, 査読無
- ② 小倉誠也, 寺西浩司, 藤田輝尚, 野中寛之: 骨材の粒形が実積率およびフレッシュコンクリートの性質に及ぼす影響 (その 3. 細・粗骨材の粒形がフレッシュコンクリートの性質に及ぼす影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, 2011. 8,

査読無

- ③ 寺西浩司, 谷川恭雄: 骨材の粒度分布の変動がフレッシュコンクリートの性質に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 76, No. 664, pp. 1043-1050, 2011. 6, 査読有
- ④ 野中寛之, 寺西浩司, 谷川恭雄: 骨材の粒形が実積率およびフレッシュコンクリートの性質に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp. 601-602, 2010. 9, 査読無
- ⑤ 寺西浩司, 谷川恭雄: 骨材の粒度分布が実積率に及ぼす影響の推定, 名城大学総合研究所紀要, No. 15, pp. 57-60, 2010. 3, 査読無
- ⑥ 寺西浩司, 清水厚年, 千田真大, 谷川恭雄: 骨材の粒度分布からの実積率の推定方法, 日本建築学会東海支部研究報告集, No. 48, pp. 65-68, 2010. 2, 査読無
- ⑦ 千田真大, 寺西浩司, 清水厚年, 谷川恭雄: 骨材の粒度分布およびセメントペーストの性質がコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp. 569-570, 2009. 8, 査読無
- ⑧ 大内千彦, 寺西浩司, 清水厚年, 千田真大, 谷川恭雄: 細粗混合骨材の実積率の推定方法に関する研究 (その1. 重回帰による実積率推定式), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp. 575-576, 2009. 8, 査読無
- ⑨ 清水厚年, 寺西浩司, 千田真大, 谷川恭雄: 細粗混合骨材の実積率の推定方法に関する研究 (その2. 骨材充填シミュレータ), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp. 577-578, 2009. 8, 査読無
- ⑩ 清水厚年, 寺西浩司, 谷川恭雄: フレッシュコンクリートの性質に及ぼす細・粗骨材の粒度分布の影響, 日本建築学会東海支部研究報告集, No. 46, pp. 49-52, 2009. 2, 査読無
- ⑪ 清水厚年, 寺西浩司, 谷川恭雄: 細骨材および粗骨材の粒度分布がコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp. 721-722, 2008. 9, 査読無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺西 浩司 (TERANISHI KOHJI)
名城大学・理工学部・教授
研究者番号: 30340293

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者 ()

研究者番号:

(4) 研究協力者

谷川 恭雄 (TANIGAWA YASUO)
三重県建設資材試験センター・理事長