

論文 高強度コンクリートの構造体中での高さ方向の圧縮強度の変動

佐藤 幸恵*1・榎田 佳寛*2

要旨: 構造体中での圧縮強度は、一般に、上層部ほど小さくなるといわれているが、高強度コンクリートでは、その差は小さくなるといわれている。本研究では、高強度コンクリートの構造体中での高さ方向による圧縮強度の変動を柱部材を対象に、既存の実験データを多数収集して解析し、定量的に検討した。その結果、コア供試体の強度レベル毎に柱部材での圧縮強度の変動の傾向を解析して各強度レベルでの構造体中での圧縮強度の変動の傾向を把握し、柱部材での強度分布性状を表すモデル図で表した。

キーワード: 高強度コンクリート, 構造体コンクリート, 打込高さ, 強度分布, 標準偏差

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の構造安全性を確保するためには、コンクリートが構造体の各部で所定の強度を発現していることが必要である。しかし、構造体の内部では、コンクリートはブリーディングや圧密などの影響を受け、高さ方向で圧縮強度の変動が生じ、水平断面内での温度分布によって強度発現に差が生じるため、すべての部位において所定の強度を満たしているかどうかの確認には、構造体中での強度発現の傾向を把握しておくことが重要である。

構造体中でのコンクリート強度の分布は、柱などの垂直部材では、上部ほど強度が低下する傾向にあるが、高強度コンクリートではその低下は小さいという報告もある¹⁾。しかし、その定量的な傾向については明確ではない。そこで、本研究では、過去に行われた実大施工実験のデータを多数収集し、総合的にとりまとめることにより高強度コンクリートの構造体の高さ方向の強度分布性状について検討を行うこととした。

2. 調査方法および解析方法

2.1 対象とした資料

本研究では、高強度コンクリートの構造体に

おける強度発現性のデータとして、(財)日本建築センターの高層鉄筋コンクリート造技術指導委員会に提出された施工実験報告書の他、筆者らが関係した、高強度コンクリートの実大施工実験のデータ^{2)~6)}を用いた。コンクリートの打込み方法は、きわめて少数の例外を除いて約50cmの高さ毎に高周波棒状振動機2~4本を挿入して約15秒締固めるのが一般的であった。また、本研究では、レディーミクストコンクリート工場で製造したコンクリートを屋外で実大柱部材に打ち込んだ場合のみを対象とした。また、柱部材の高さは1500mm以上であり、RC柱と無筋柱の両者を含んでいる。検討対象とした柱部材の調査諸元を表-1に、対象とした柱部材の内訳を図-1に示す。構造体の設計基準強度は

表-1 調査諸元

実験件数	46
打込み回数	131
実験期間(年)	1986~1999
設計基準強度(N/mm ²)	36~100
水結合材比(%)	20~44.7
部材数(材齢28日)	300
部材数(材齢91日)	192
総部材数	492
RC柱	355
無筋柱	137

*1 宇都宮大学大学院 工学研究科エネルギー環境科学専攻 工修 (正会員)

*2 宇都宮大学教授 工学部建設学科 工博 (正会員)

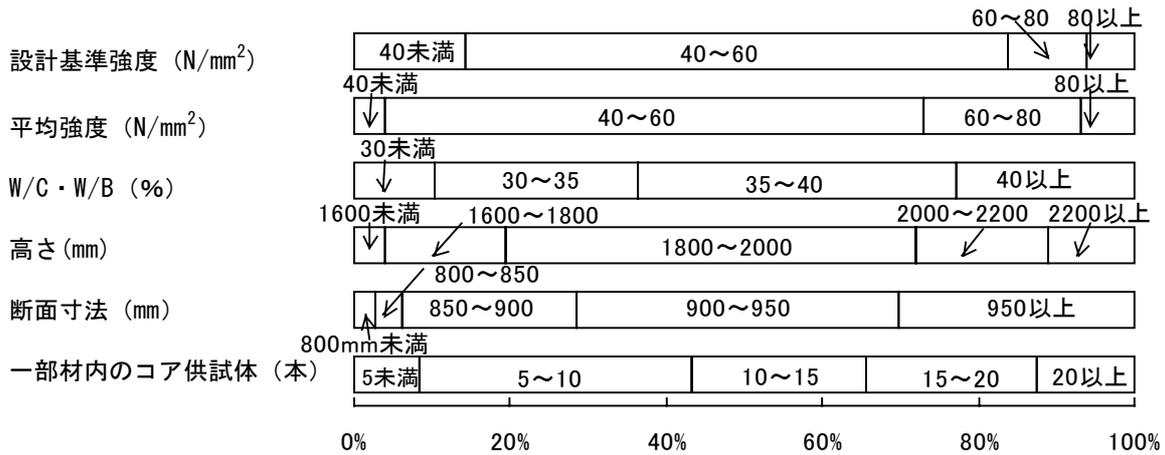


図-1 対象とした柱部材の内訳

32~100N/mm² であり、平均強度は 31.4~131.8N/mm² であった。セメントの種類は、設計基準強度が 100N/mm² ではポルトランドセメントにシリカフェームを 5~15% 混入したものを用い、また、60 および 80N/mm² の一部でエトリンサイト系高強度混和材を用いた他は、ほとんどが普通ポルトランドセメントを用いたものである。水セメント比および水結合材比は 20~52.5%、断面寸法は 650~1050mm、コア採取位置の最高高さは 1410~3250mm であった。これらのデータから、高強度コンクリートの構造体中での強度分布特性を調べた。

2.2 解析方法

コア供試体では、柱部材を垂直に採取したものと、水平に採取したものがあるが、両者の圧縮強度は、縦方向に採取した方が若干強度が高くなる傾向にあるが、ほとんど大差はなく²⁾、

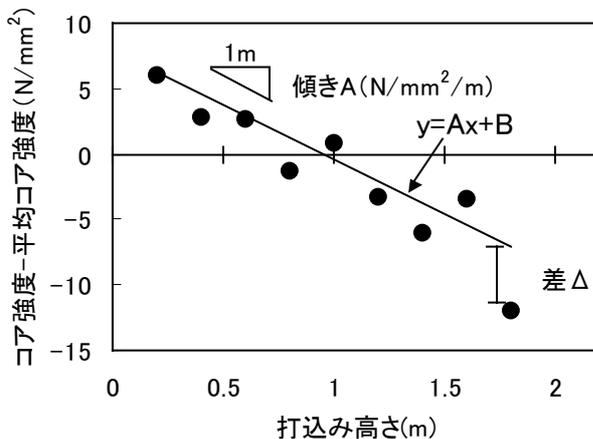


図-2 解析方法

本研究では区別せずにとりまとめることとした。高さ方向の変動の傾向を調べるために、個々

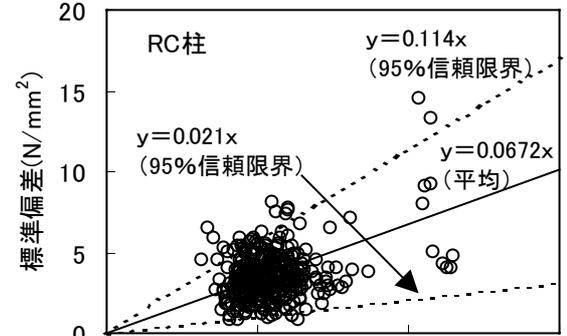
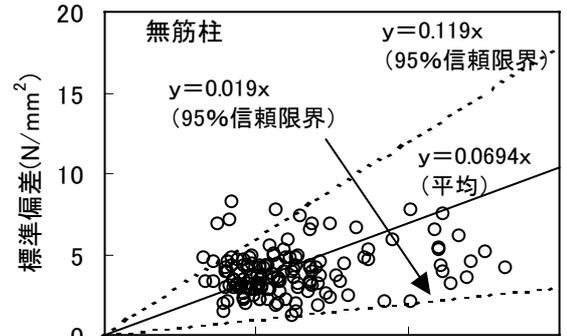
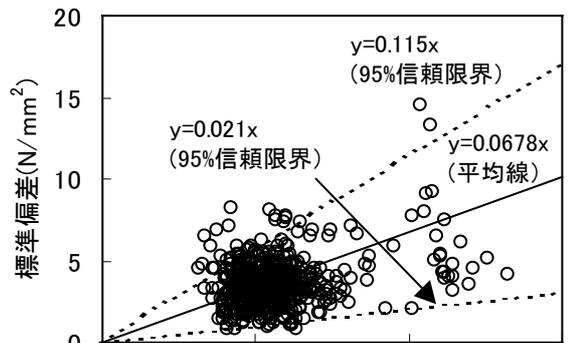
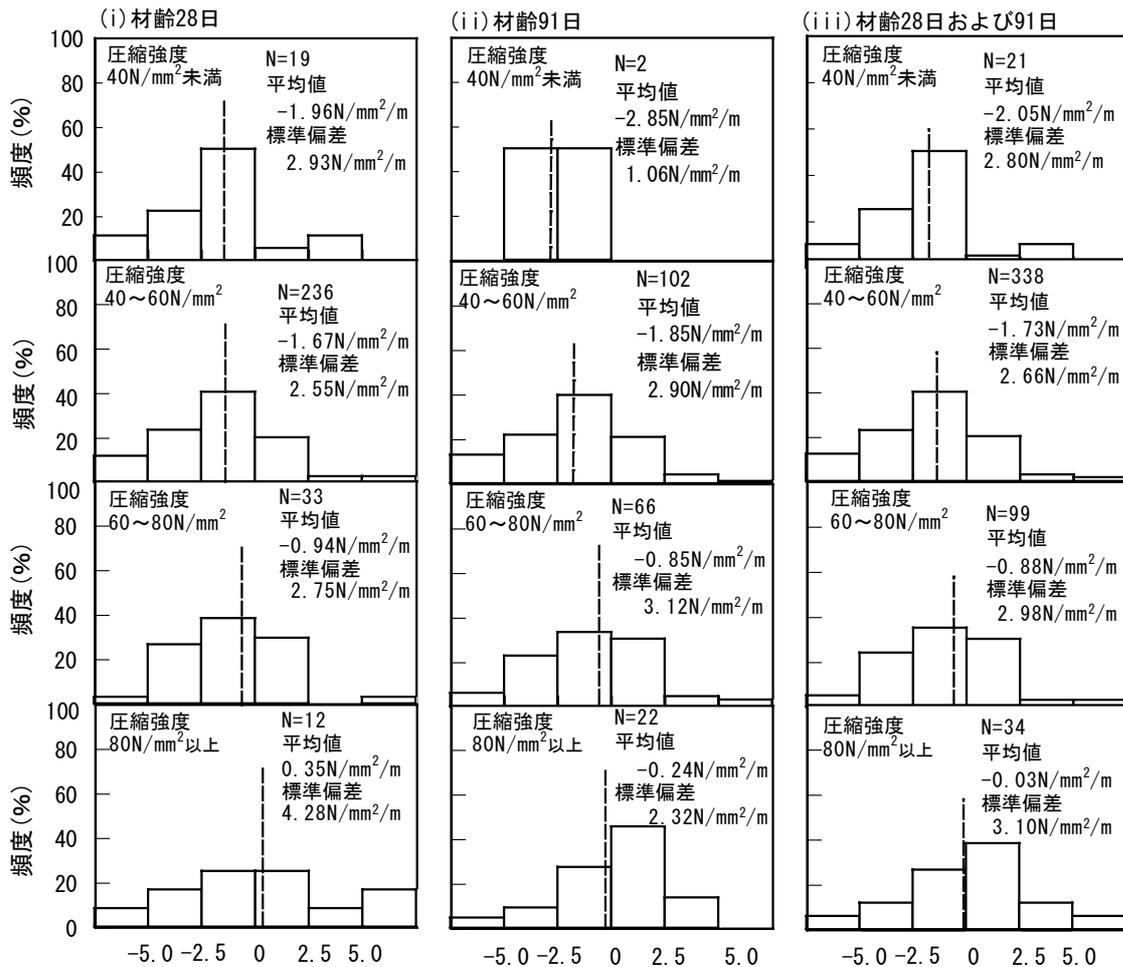


図-3 圧縮強度の平均値と標準偏差



図—4 傾きAの分布

の部材ごとに、材齢別に部材内でのコア供試体圧縮強度の平均値を求め、図—2に示すように、打込高さと、各コア供試体の強度と部材内でのコア供試体強度の平均値との差との関係から傾きAを求めた。さらに、柱頭部だけが強度低下していることがあるかどうかを調べるために、柱頭部での強度と回帰直線による計算値との差を Δ として求めた。

3. 検討結果と考察

3.1 一部材内の圧縮強度の変動

図—3に、一部材内の圧縮強度の平均値と標準偏差の関係を示す。図より、若干高強度の範囲で標準偏差が高いものもみられるが、標準偏差はおおむね1~10N/mm²の範囲に分布していることがわかり、一部材内の標準偏差は圧縮強度の平均値に対して平均で約6%、最大で約11%であった。また、無筋柱とRC柱とでは大差はな

く、同じように扱うことができるといえる。

3.2 傾きAの分布性状

図—4は、部材別の平均強度の範囲別に、傾きAの頻度の分布を示したものである。部材の平均強度の範囲により、データ数にばらつきがあるが、材齢28日では部材の圧縮強度の平均値が40N/mm²未満の場合では打込み高さが1m高くなる毎に、1.96N/mm²、40~60N/mm²の場合では1.67N/mm²、60~80N/mm²では0.94N/mm²だけ強度が低下し、80N/mm²以上では0.35N/mm²だけ強度が増加する結果となった。材齢91日もほぼ近い値が得られ、これらをまとめると、部材の圧縮強度の平均値が40N/mm²未満の場合、打込み高さが1m高くなる毎に2.05N/mm²、40~60N/mm²の場合では1.73N/mm²、60~80N/mm²では0.88N/mm²、80N/mm²以上では0.03N/mm²だけ強度が低下することがわかる。傾きAの値はゼロに近くなるにつれて、高さ方向による圧

縮強度の変動は小さくなっていることを示しており、高強度ほど高さ方向の変動が小さくなることが明らかとなった。また、対象とした柱部材を RC 柱と無筋柱に区分し、それぞれ強度範囲別に傾き A の分布をまとめたものを図-5 に示す。無筋柱では各強度範囲において、強度が高くなるにつれて傾き A の平均値も大きくなり、打込み高さによる圧縮強度の変化は小さくなる。また、RC 柱においても同様の傾向がみられるが、無筋柱に比べて傾き A の値は全体的に大きくばらついており、大小の順序が逆転しているところもみられる。これは、RC 柱ではコンクリートの打込み、締固め時に鉄筋の影響を受けるためと考えられる。

図-6 に、傾き A の絶対値と部材内の標準偏差の関係を示す。傾き A の絶対値が大きいと標準偏差も大きくなる傾向がある。また、傾きがゼロの場合、すなわち高さ方向の変動がない場合は、標準偏差は90%の信頼限界で $0.5 \sim 5.1 \text{N/mm}^2$ の範囲に入るといえる。

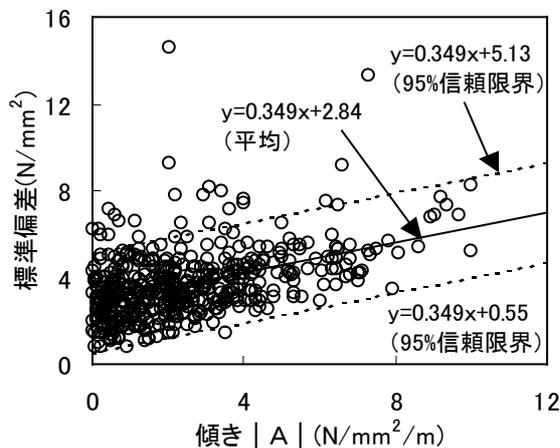


図-6 傾きAの絶対値と標準偏差

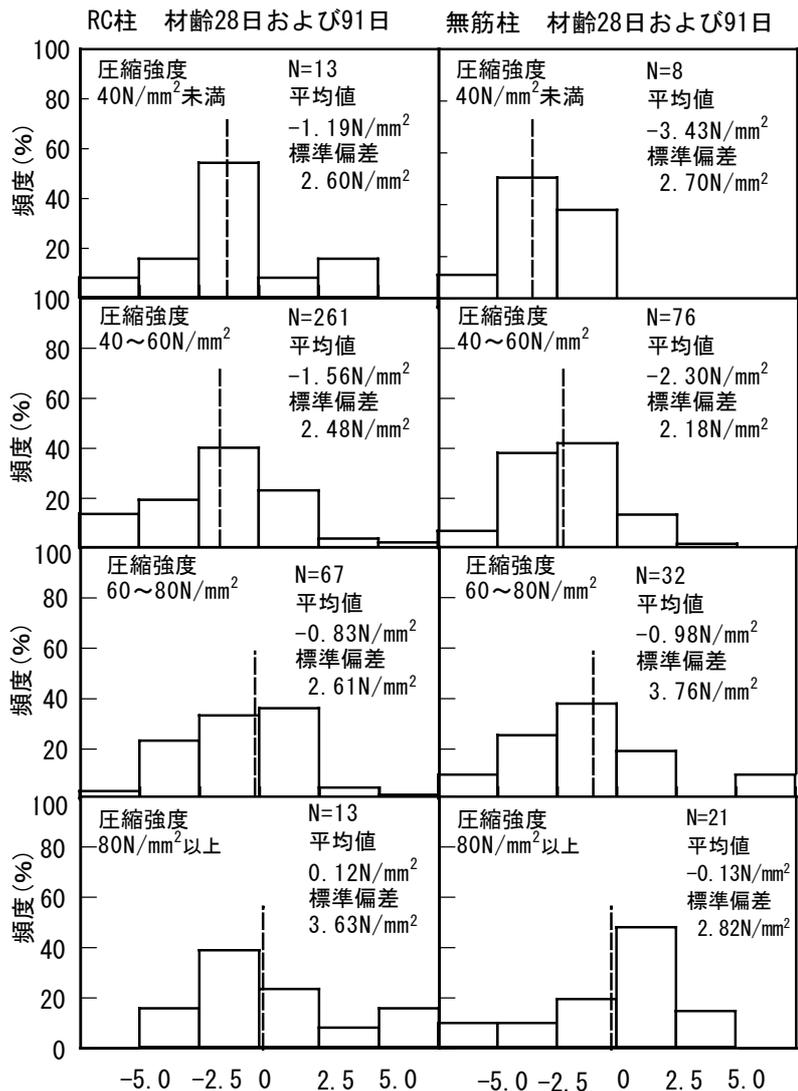


図-5 傾きAの分布 (無筋柱, RC柱)

3.3 傾きAと材齢の関係

材齢 28 日における傾き A の値が材齢 91 日においてどの程度大きくなるかの傾向を調べたものが図-7 である。この関係は、ばらつきは大

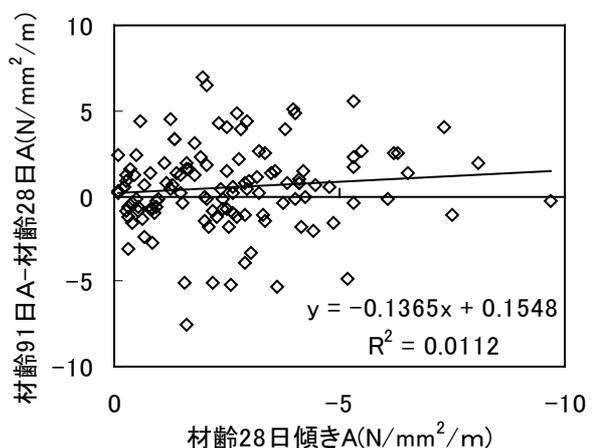
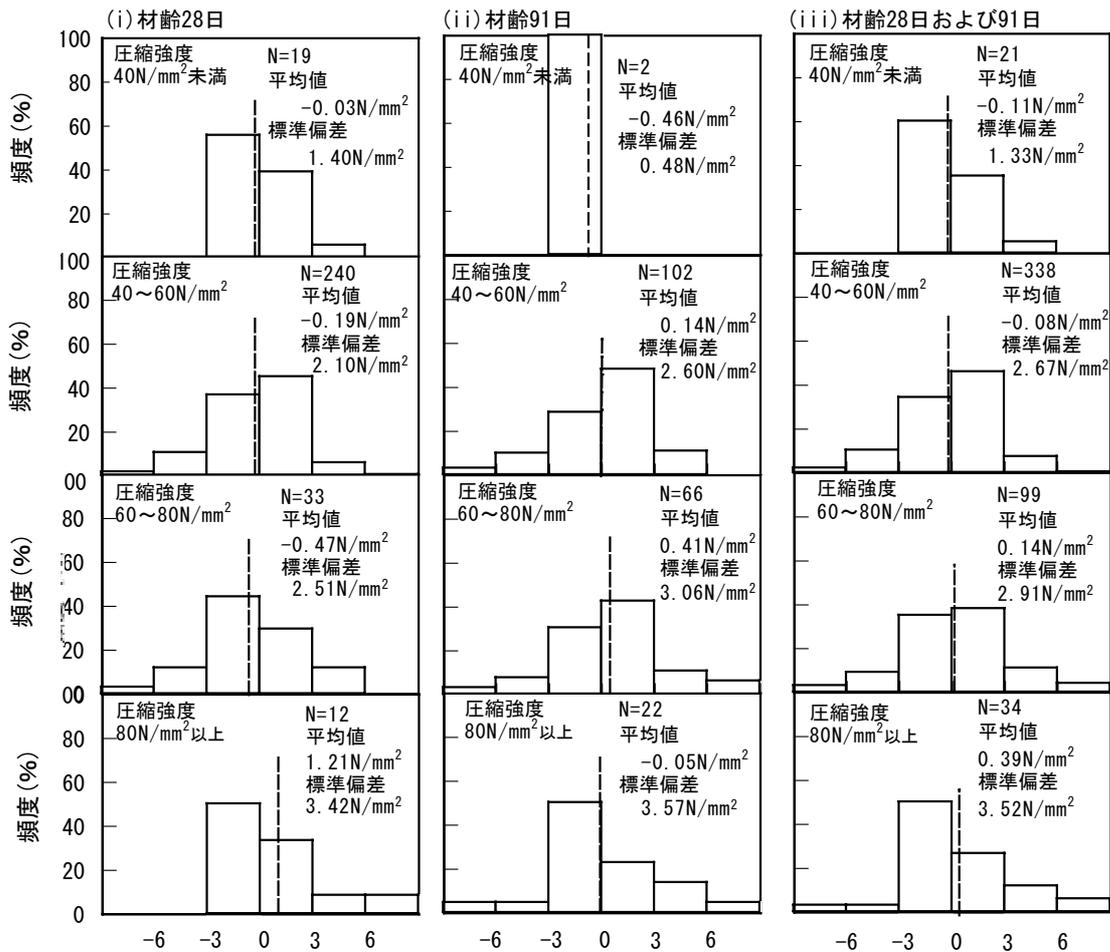


図-7 傾きAと材齢の関係



図—8 差Δの分布

きいものの、全体的な傾向として材齢 28 日における傾きが小さいほど、材齢 91 日と材齢 28 日との差が大きく、材齢 28 日における傾きが -6N/mm^2 の場合、 0.9N/mm^2 、 -4N/mm^2 では 0.7N/mm^2 、 -2N/mm^2 の場合は 0.4N/mm^2 となり、平均して大きくなる。A の値は材齢 28 日に比べて材齢 91 日の方が大きくなる傾向にあったが、これは、材齢 28 日から 91 日にかけて全体的に強度の増大が生じる中で、既に高い強度に達している柱脚部より強度が低い柱頭部の強度増加率が大きいためと考えられる。

3.4 差Δの分布性状

図—8 に、部材の平均強度の範囲別に差Δの分布を示す。全体的に、平均強度が低いほどΔは小さくなっており、圧縮強度の平均値が 40N/mm^2 未滿では、 -0.11N/mm^2 、 $40\sim 60\text{N/mm}^2$ では -0.08N/mm^2 、 $60\sim 80\text{N/mm}^2$ では 0.14N/mm^2 、 80N/mm^2 以上では 0.39N/mm^2 であった。このこ

とから、強度が高くなるにつれΔは大きくなってゆく傾向があることがいえる。コア供試体強度の範囲別が 60N/mm^2 までの範囲ではΔの平均値が負となるので、柱頭部では他の部位に比べコア供試体強度が低くなることが多い。一方、 60N/mm^2 を超えるとΔは正の側、すなわち柱頭部における強度低下がないものが多く分布するようになることがわかる。高強度になるにつれ柱頭部におけるコア供試体強度が他の部位に比べて平均的に大きくなり、さらに、柱頭部で他の部位よりも強度が高くなる場合が多くみられるようになる理由として、高強度コンクリートの場合は柱頭部におけるブリーディングの影響が少なく、柱頭部ほど温度上昇量が小さく⁷⁾、初期材齢における温度履歴の影響も比較的小さいためと考えられる。

3.5 強度発現性状のモデル化

本研究では約 500 の高さ方向の圧縮強度の変

動に関する実大施工実験のデータを収集し、傾き A および柱頭部の回帰式からの差 Δ について分析したが、これらを総合して柱部材中での強度分布性状を模式的に表すと、**図-9** のようになる。圧縮強度の平均値が低い場合では高さ方向での変動が大きく、また、柱頭部での圧縮強度の低下も起こりやすい。さらに、圧縮強度の平均値が高い場合では、部材中の高さ方向での変動が小さく、また、柱頭部での強度低下はあまり起こらない。

4. まとめ

本研究では、構造体中での高さ方向の変動を把握するために、過去に行われた実大施工実験の膨大な結果を用いて柱部材内での高さ方向での圧縮強度の変動を統計的に解析し、以下の結果を得た。

- 1) コア供試体強度の平均値が高い部材ほど部材の高さ方向での圧縮強度の変動は小さくなる。
- 2) 柱頭部での強度低下は、コア供試体強度の高い部材ではあまりみられず、平均強度が 60N/mm^2 を超えると柱頭部での強度が高い場合が多くなる。
- 3) 材齢 91 日では、高さ方向の変動は少なくなる。

以上の結果より、柱部材での強度分布の傾向を**図-9**により表した。

なお、壁、スラブ、パネルゾーン等の構造部材の圧縮強度の変動については今後の研究課題としたい。

謝辞

本研究では、各社の貴重なデータを使わせていただきました。関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 構造体コンクリート強度に関する研究の動向と問題点，日本建築学会，1987.11
- 2) 梶田佳寛，佐藤幸恵，友澤史紀：高強度コン

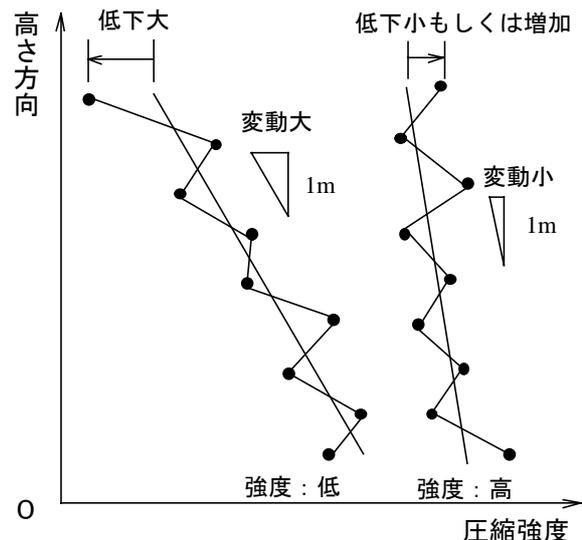


図-9 強度発現分布モデル図

クリートの構造体中での強度発現性と調査強度，日本建築学会構造系論文集，No.537，pp.13-20,2000.11

- 3) 和田利之，河野政典ほか：100N/mm²級高強度コンクリートを用いた構造体の強度特性および発生応力（その1）（その2），日本建築学会学術講演梗概集 A-1（中国）pp.21-24，1999.9
- 4) 小菅啓一ほか：エトリンガイト系混和材を用いた現場打ち高強度コンクリートの実大柱実験による検討，日本建築学会学術講演梗概集 A（関東）pp.699-700，1993.9
- 5) 太田達見，山崎庸行ほか：高強度コンクリートの強度発現性状に関する研究（その1）（その2），日本建築学会学術講演梗概集 A-1（九州）pp.797-800，1998.9
- 6) 毛見虎雄，大川裕，大村高慶，児玉和己，岡村一臣，寺田謙一ほか：高強度コンクリートのポンプ圧送性に関する実験研究（その1）～（その6），日本建築学会学術講演梗概集 A（中国），pp.561-572，1990.10
- 7) （財）国土開発技術研究センター：建設省総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発」平成元年度高強度コンクリート分科会報告書，4・20-4，pp.3，1990.2