

各種粗骨材を用いた低水セメント比コンクリートの硬化性状に関する実験的研究

Experimental Study on Properties of Strength for Low Water-Cement ratio Concrete with Various Coarse Aggregate

松村光太郎, 南部正樹*

Kotaro MATSUMURA, Masaki NANBU

1. はじめに

近年, 性能規定化に伴い, コンクリートに用いられる骨材が多様化している。特に, 粗骨材は, 1991 年に施行された「再生資源の利用の促進に関する法律」に伴い多種多様化し, その様々な粗骨材の中で, 環境問題の観点から, コンクリート廃材(コンクリートがら)をコンクリート用粗骨材として再利用することが, 循環型の再利用として注目されている¹⁾。

その一方で, 鉄筋コンクリート造建築物の劣化が社会問題となり, 対策の 1 つとして, コンクリートを高強度化することが挙げられ²⁾, また, 建築物としての高耐久化, 高性能化, そして高機能化の観点から, 超高強度コンクリートも開発が進められている³⁾。

この 2 つの観点から, 現在, 多種多様な粗骨材を用いた高強度, 超高強度コンクリートの性能を知ることが急務となっている。

著者らは, 昨年度の報告⁴⁾において, 多種多様化している粗骨材の中から循環型環境問題が考慮されている再生粗骨材, 高強度コンクリート, 超高強度コンクリートに対応している碎石, そして従来からある川砂利の 3 種類を選択し, それぞれの粗骨材を用いた低水セメント比コンクリートにおけるフレッシュ性状を把握した。

そこで, 本研究では, 昨年度と同種の骨材を用いた同調合の低水セメント比コンクリートにおける硬化性状を把握することを目的とする。

なお, 低水セメント比コンクリートとは, 高強度コンクリート(水セメント比 $W/C=40\sim30\%$, 設計基準強度 $F_c=36\sim60N/mm^2$)および超高強度コンクリート(水セメント比 $W/C=30\%$ 以下, 設計基準強度 $F_c=60N/mm^2$ 以上)の両者を含んだコンクリートのことである。

2. 実験方法

2. 1 使用材料および調合⁴⁾

本研究で用いた骨材の性状を表 1 に示す。本研究に用いた粗骨材は, 川砂利, 碎石, 再生粗骨材の 3 種類とした。なお, 川砂利は鬼怒川産川砂利, 碎石は金丸産安山岩系碎石を使用した。また, 再生粗骨材のベースコンクリートは, 本校の授業「建築実験(平成 12~13 年度)」で作製したコンクリート試験体を, 粗粉碎機によって粉碎し, JIS A 5005 コンクリート用碎石及び細砂の碎石 2005 に準じた粒度に調節した上で使用した。

コンクリートの調合表を表 2 に示す。本研究では, 粗骨材の違いによるフレッシュ性状の相違を把握することを目的としているため, 細骨材(鬼怒川産川砂), セメント(普通ポルトランドセメント, 密度: $3.16g/cm^3$, 太平洋セメント(株)製), 高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系, 密度: $1.00\sim1.10g/cm^3$, 花王(株)製)は同一材料とした。また, 調合において, 単位粗骨材かさ容積を一定($0.62m^3/m^3$)とし, 目標空気量(4.5%)と単位水量($165kg/m^3$)も一定とした。水セメント比は, 低水セメント比域として, 現場施工の実用性の下限とされている 23%²⁾と, 高強度としての設計基準強度の最低値である $36N/mm^2$ を表現する 40%³⁾, そして, セメント水比で両者の中間となる 30%の 3 水準とした。なお, 調合名の C は碎石, N は川砂利, R は再生粗骨材を示し, 数値は水セメント比を示す。

表 1 骨材の性状

骨材データ	密度 (g/cm^3)		吸水率 (%)	単位容積 質量(kg/m^3)	実績率 (%)	粗粒率
	表乾	絶乾				
碎石	2.65	2.63	0.94%	1.58	60.2%	6.71
川砂利	2.61	2.56	2.00%	1.66	64.8%	6.76
再生粗骨材	2.49	2.39	3.98%	1.38	57.6%	6.45
細骨材	2.60	2.55	1.87%	1.60	63.0%	2.46

表-2 コンクリートの調合表

調合名	単位水量 (kg/m ³)	水セメント 比 (%)	単位粗骨材 かさ容積 (m ³ /m ³)	目標空気量 (%)	混和剤 添加量 (%)
C-23	165	23.0%	0.62	4.5%	1.8%
C-30	165	30.0%	0.62	4.5%	1.2%
C-40	165	40.0%	0.62	4.5%	0.8%
N-23	165	23.0%	0.62	4.5%	1.8%
N-30	165	30.0%	0.62	4.5%	1.2%
N-40	165	40.0%	0.62	4.5%	0.8%
R-23	165	23.0%	0.62	4.5%	1.8%
R-30	165	30.0%	0.62	4.5%	1.2%
R-40	165	40.0%	0.62	4.5%	0.8%

注：混和剤添加量は、セメント質量に対する混入量である。

2. 2 実験項目

コンクリートの硬化性状として、以下に示す項目について、実験を行った。

(1) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、JAS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じて行った。なお、材齢は、3日、7日、28日、91日とした。また、端面処理は、打込み後8時間でセメントペースト(W/C=20%)によるキャッピング仕上げを施した。

(2) 引張強度試験

引張強度試験は、JIS A 1113「コンクリートの引張強度試験方法」に準じて行った。なお、材齢は28日とした。

(3) 曲げ強度試験

曲げ強度試験は、JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に準じて行った。なお、材齢は28日とした。

(4) 静弾性係数測定試験

静弾性係数測定試験は、JIS 原案「コンクリートの静弾性係数試験方法」に準じて行った。なお、本研究では、材齢28日の圧縮強度試験時における静弾性係数(ヤング係数)、ポアソン比を実験の対象とした。

3. 実験結果および考察

圧縮強度試験結果を図-1に示す。骨材種類の違いによる差は、各水セメント比において、碎石と川砂利との差があまりみられなかった。しかし、再生骨材は、水セメント比が低くなるのに伴い、碎石あるいは川砂利との強度の差が大きくなる傾向にあった。

積算温度と圧縮強度との関係を図-2に示す。各調合とも、初期材齢において強度増進にばらつ

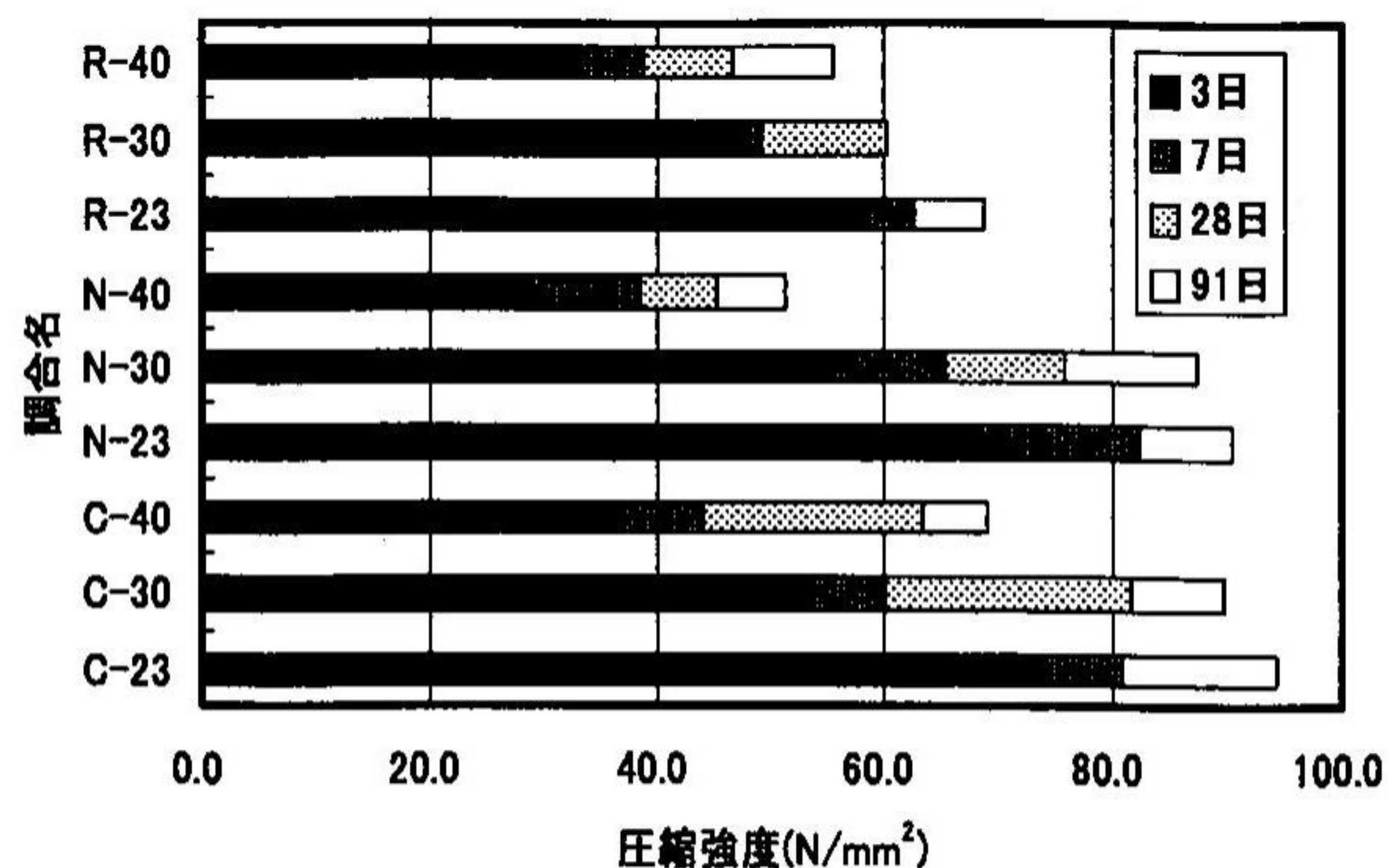


図-1 圧縮強度試験結果

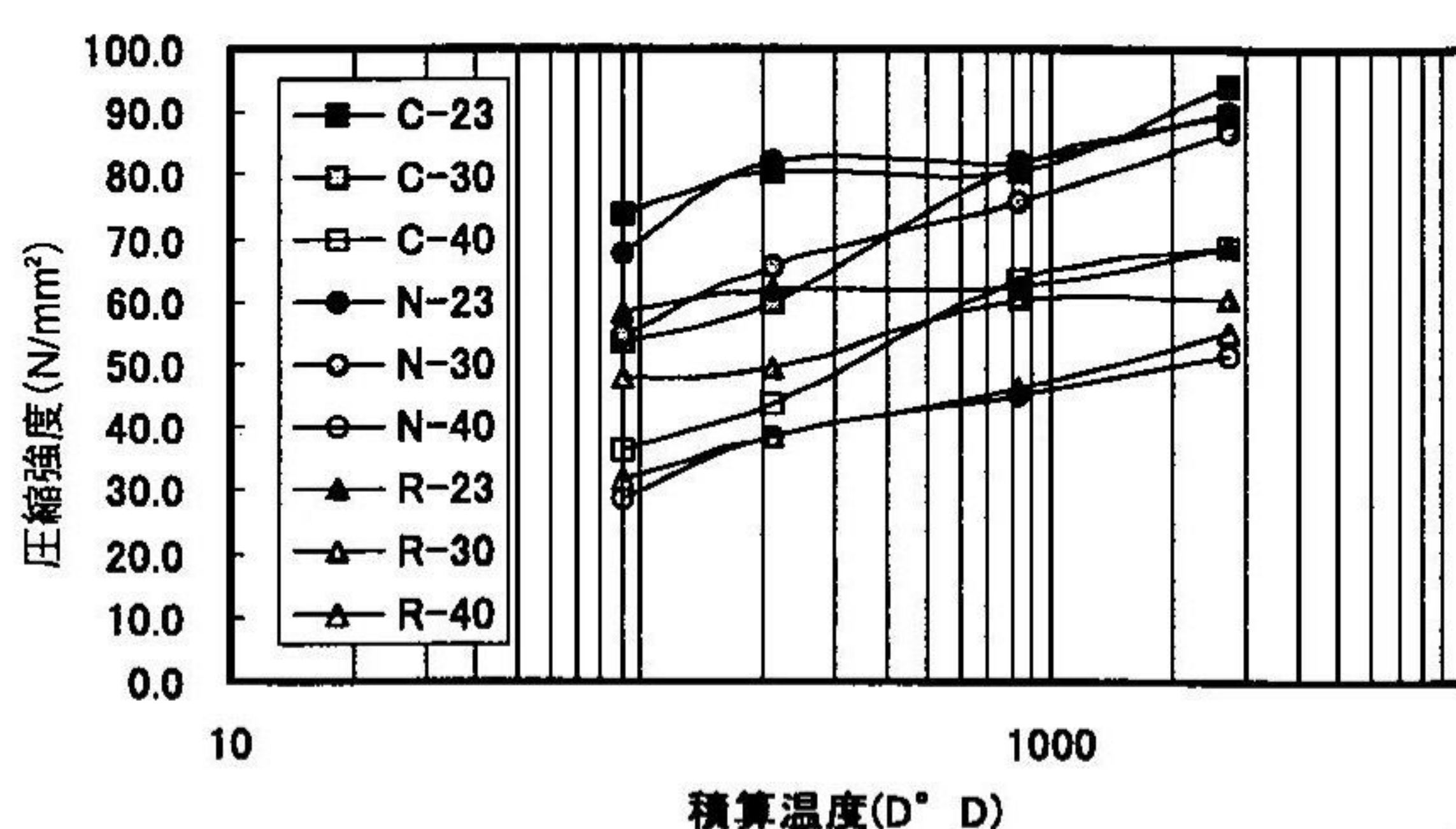


図-2 積算温度と圧縮強度との関係

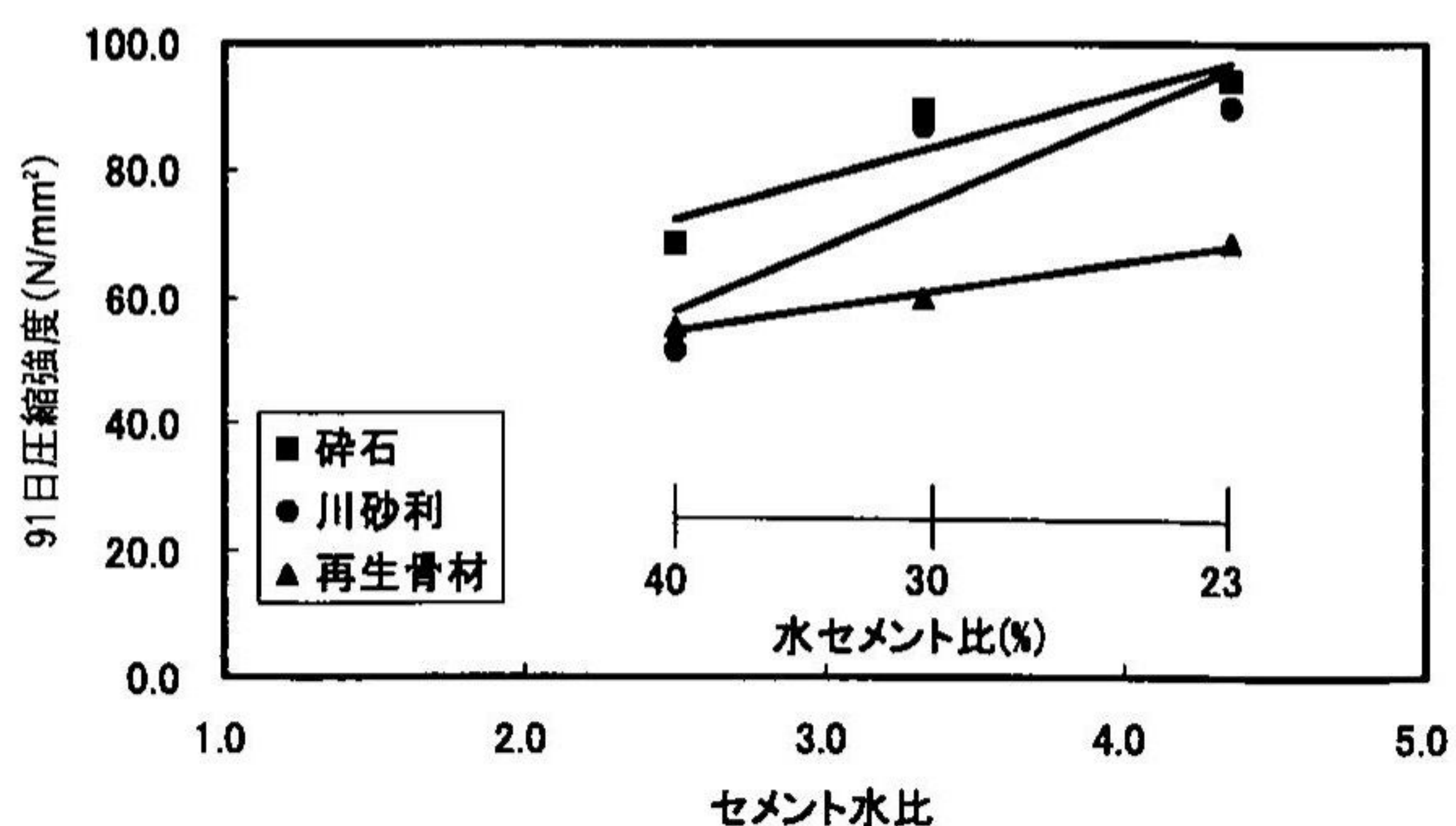


図-3 セメント水比と91日圧縮強度との関係

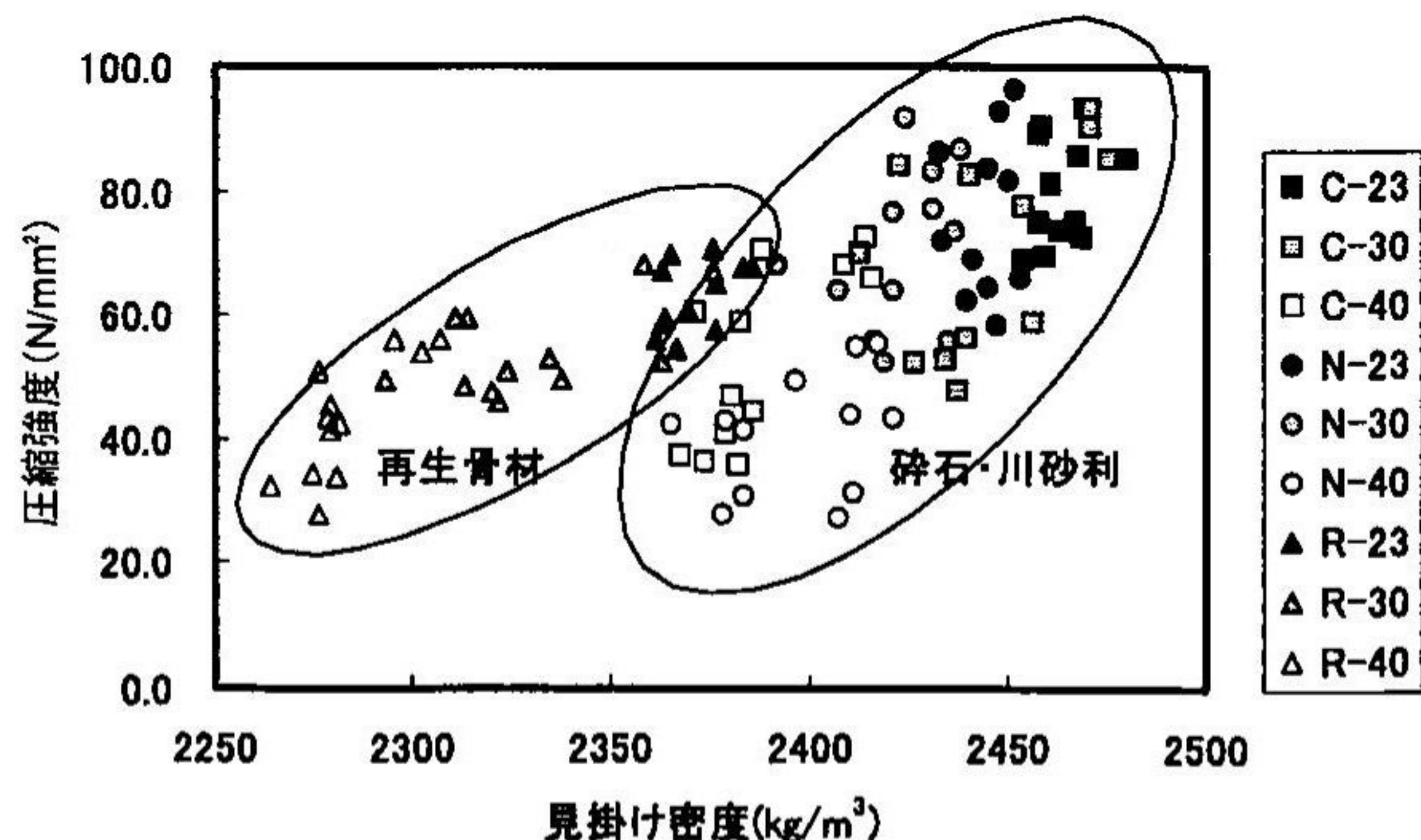


図-4 見掛け密度と圧縮強度との関係

各種粗骨材を用いた低水セメント比コンクリートの硬化性状に関する実験的研究

きが見られた。これは、夏場の打設による気温の差が影響したと考えられる。なお、積算温度とは、環境温度を指標化したものであり、(式1)で表される。

$$\theta = \sum_{n=1}^N (T_n + 10) \quad (\text{式1})$$

ここに、 θ : 積算温度(D° D)
 T_n : n日目の環境温度(°C)
 N : 養生期間(日)

セメント水比と91日の圧縮強度との関係を図-3に示す。各骨材とも、セメント水比の増加(水セメント比の低下)に伴い、圧縮強度は比例的に増加する傾向にあった。

コンクリートの見掛け密度と圧縮強度との関係を図-4に示す。見掛け密度が大きくなるのに伴い、圧縮強度が高くなる傾向にあった。特に再生骨材のコンクリートは、見掛け密度が小さく、圧縮強度も低くなった。これは、再生骨材に付着していたモルタルが、再生骨材のコンクリートの見掛け密度と圧縮強度との両者に悪影響を及ぼしたからだと思われる。

圧縮強度と引張および曲げ強度との関係を図-5に示す。引張および曲げの強度は、圧縮強度と同様に碎石と川砂利とはあまり差がなく、再生骨材は、碎石および川砂利と比べ、低い強度になった。また、圧縮強度の増加に伴い、引張および曲げ強度は増加の傾向が見られた。

圧縮強度とヤング係数との関係を図-6に示す。また、圧縮強度とポアソン比との関係を図-7に示す。圧縮強度とヤング係数との関係には、粗骨材の種類による差は見られなかった。また、ヤング係数は、多少のばらつきはあるものの、鉄筋コンクリート構造計算基準式(式2)と同じ傾向にあった。

$$E = 33500 \times \left(\frac{Y}{24}\right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{式2})$$

ここに、 E : ヤング係数(N/mm²)
 Y : コンクリートの気乾単位容積質量(kN/m³)
 F_c : コンクリートの設計基準強度(圧縮強度)(N/mm²)

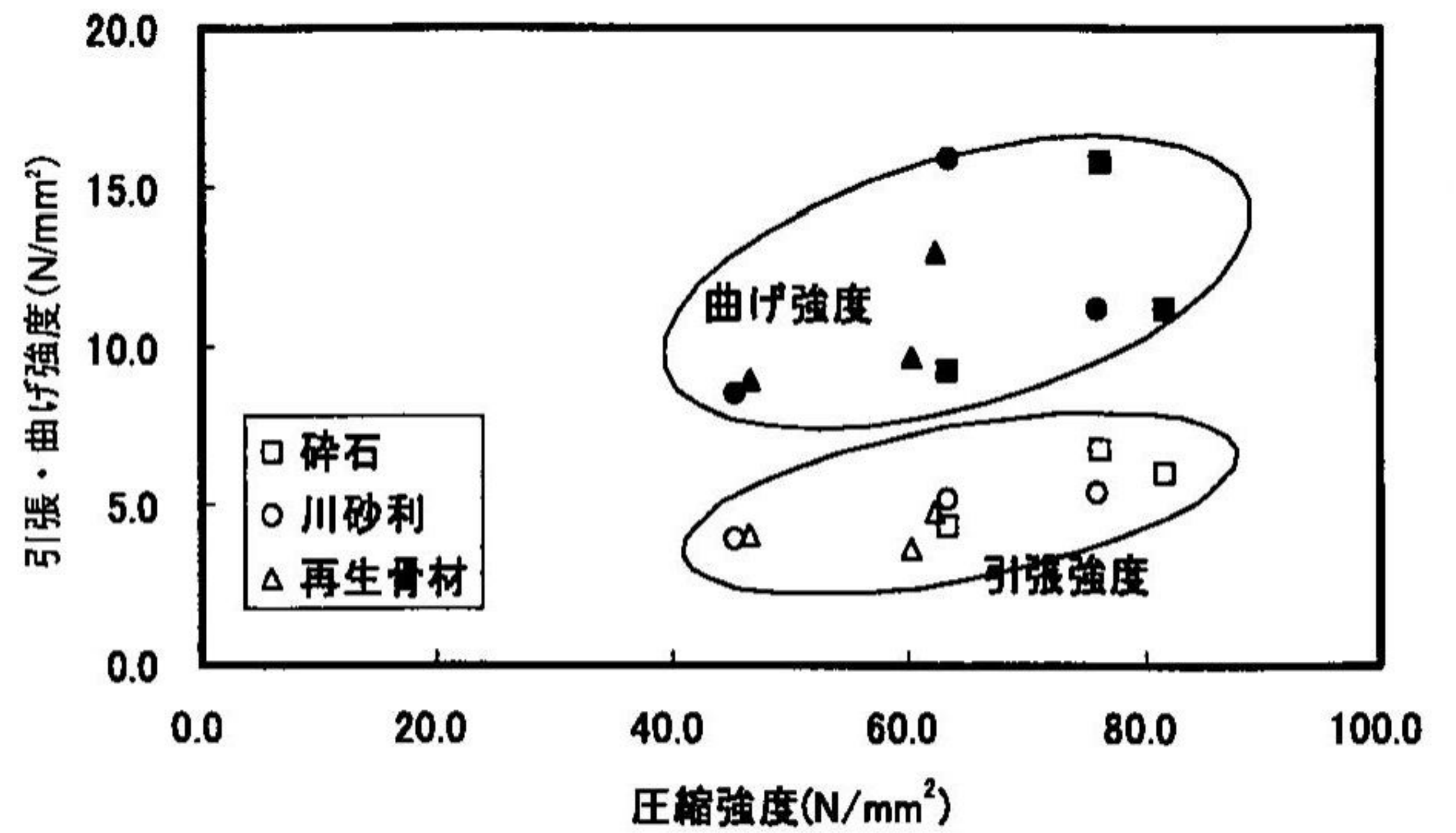


図-5 圧縮強度と引張強度・曲げ強度との関係

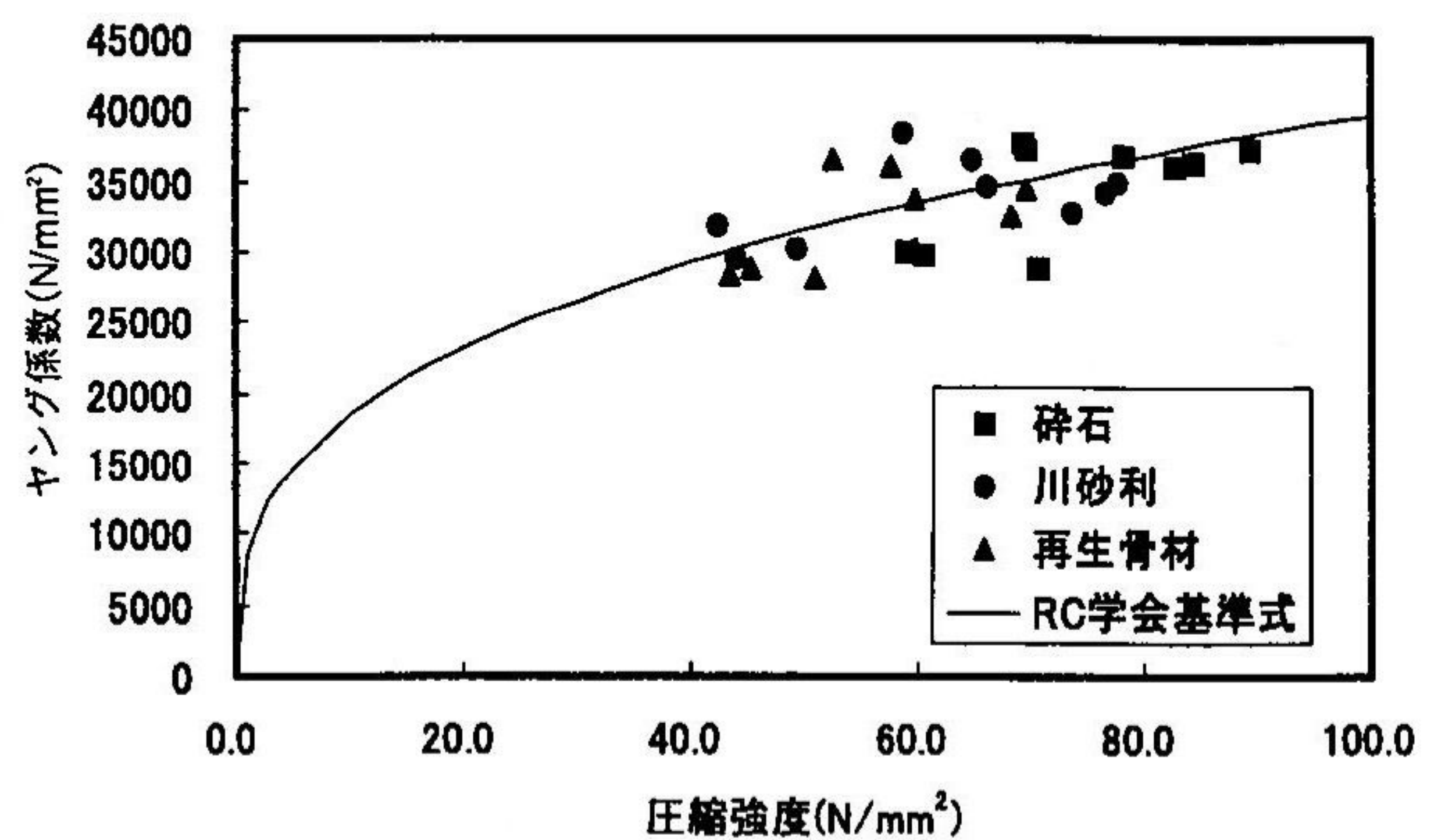


図-6 圧縮強度とヤング係数との関係

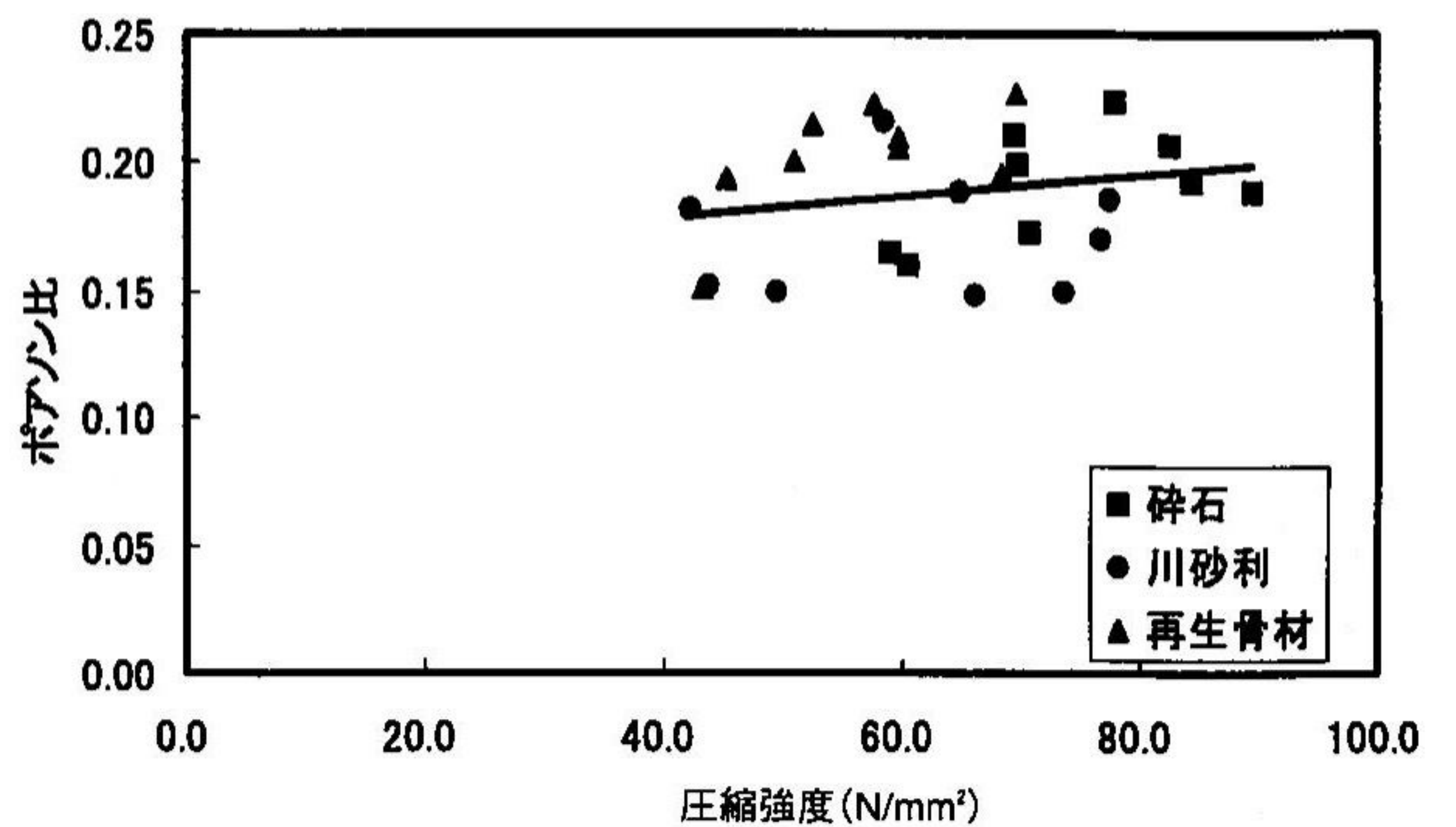


図-7 圧縮強度とポアソン比との関係

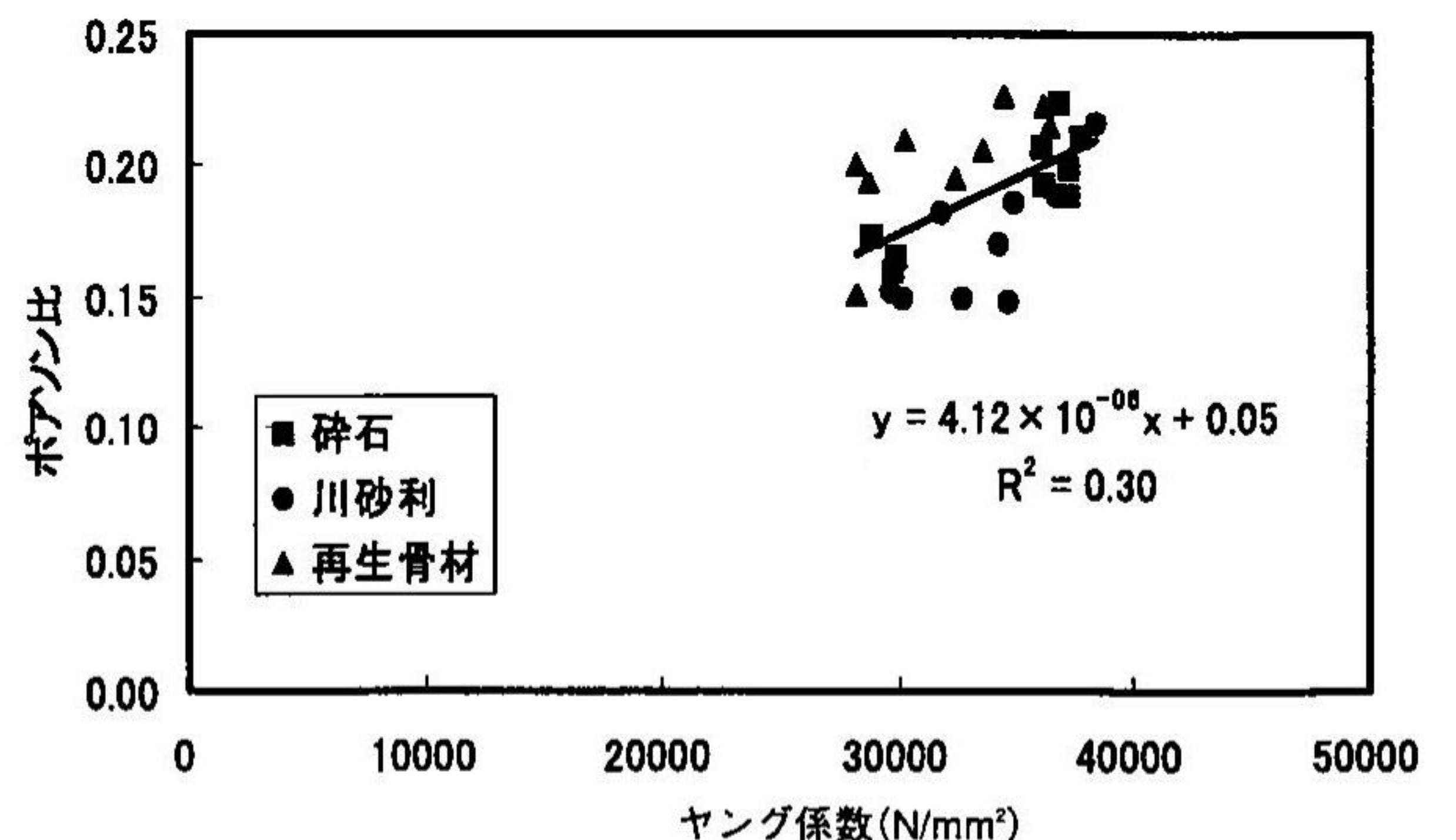


図-8 ヤング係数とポアソン比との関係

ポアソン比は、粗骨材の違いによる差はほとんどみられなかった。また、ポアソン比は、圧縮強度の増加に伴い、若干大きくなる傾向が見られたが、通常のコンクリートと同様、0.14~0.24の範囲となった。

ヤング係数とポアソン比との関係を図-8に示す。両者の関係は、相関係数が0.30と非常に低い。これは、骨材の種類による影響あるいは水セメント比の違いによる影響によって、応力を受けたときの縦ひずみと横ひずみとの変形がばらついていることを示している。したがって、低水セメント比の領域においては、コンクリート自体が、鉄筋コンクリート構造体としての変形性能に悪影響を及ぼすと考えられ、設計時にクリープ変形などの影響を考慮する必要性があるだろう。

4. おわりに

本研究では、粗骨材の違いによる低水セメント比コンクリートの硬化性状を把握した。その成果を次に示す。

- 1) 川砂利は、現在、低水セメント比の骨材として利用されている碎石と同等な硬化性状を示し、低水セメント比コンクリートに利用が可能であることがわかった。ただし、フレッシュ性状に注意を払う必要性がある。
- 2) 再生骨材は、水セメント比が低くなるのに伴い、碎石および川砂利との強度の差が大きくなる傾向にあった。したがって、現段階では、再生骨材の低水セメント比コンクリートへの利用は、問題が多いと思われる。
- 3) 低水セメント比コンクリートの変形は、骨材の影響を受けやすいため、鉄筋コンクリート構造体として設計する場合には、クリープ変形などの影響を考慮する必要性があるだろう。

5. 今後の課題

碎石や川砂利は、その利用性が高いといっても、限りある大切な天然資源であり、大量に消費することは、地球環境アセスメントに対して多大な悪影響を与えることにもつながる。したがって、今後は、低水セメント比領域に利用しうる再生骨材の開発を検討すべきである。また、低水セメント比領域における再生骨材の利用について、積極的に取り組むべきであろう。

謝辞

本研究において、本校5年生砂庭悠道氏、藤原聡氏には実験の助力を得た。また、物質工学科吉田裕志教授には貴重な実験器具を譲り受けた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 日本建築学会, 建物のLCA指針(案)~地球温暖化防止のためのLCCO₂を中心として~, 1999
- 2) 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), 1991
- 3) 日本建築学会, 高強度コンクリートの技術の現状, 1991
- 4) 松村光太郎, 南部正樹: 各種粗骨材を用いた低水セメント比コンクリートのフレッシュ性状に関する実験的研究, 小山工業高等専門学校研究紀要第34号, pp. 183-186, 2002.3
- 5) 日本建築学会, 高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案), 1997
- 6) 日本建築学会, 高性能AE減水剤コンクリートの調合・製造および施工指針・同解説, 1992

「受理年月日 2002年9月26日」