

論文

[1003] 転圧貧配合コンクリートに対する高炉スラグ微粉末の利用

正会員○戸川一夫（和歌山工業高等専門学校）

正会員 中本純次（同 上）

1. まえがき

近年、超硬練りコンクリートを転圧締固める施工方法が開発され、ダムではRCD工法、道路舗装ではRCCP工法と称して、その施工実績はしだいに増加する機運にある。RCD用コンクリートおよびRCCP用コンクリートは従来のコンクリートとくらべると貧配合である。転圧超硬練り貧配合コンクリートの配合設計法やコンクリートの品質改善については、まだ研究の余地が残されているように考えられる。

当研究室では数年前より転圧超硬練りコンクリートの品質改善に関して高炉スラグ微粉末の有効利用を確立するために種々の実験的検討を行ってきた。その結果単位セメント量が55 kg/m³のような貧配合超硬練りコンクリートに高炉スラグ微粉末を細骨材に置換えて使用することは、強度、発熱、乾燥収縮等の諸特性を著しく改善できることが明らかになった。^{[1], [2]}

本研究はさらに貧配合のコンクリートに高炉スラグ微粉末を有効に利用するために実験的な検討を行うものである。

表-1 高炉スラグ微粉末試験成績

比表面積 (cm ² /g)	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnO (%)	FeO (%)	TiO ₂ (%)	S (%)	SO ₃ (%)
4040	43.24	32.00	13.54	8.03	0.28	0.45	1.13	0.72	0.02
7140	42.69	31.72	13.51	7.98	0.27	0.48	1.08	0.72	0.04
10730	42.68	31.18	14.23	7.94	0.34	0.37	0.92	0.76	0.05

表-3 コンクリートの示方配合

コンクリート 種類	単 位 量 (kg/m ³)						
	C	W	B	CaSO ₄	S	G (20~13)	G (13~5)
20-0	20	115	0	0	945	670	670
20-15			149.1	7.8	803		
20-25			248.9	13.1	709		
20-35			347.7	18.3	614		
40-0	40	115	0	0	938	665	665
40-15			148.2	7.8	797		
40-25			247.0	13.0	704		
40-35			344.9	18.2	610		
60-0	60	115	0	0	931	660	660
60-15			147.5	7.6	791		
60-25			245.1	12.9	698		
60-35			343.0	18.1	605		

表-2 実験計画

B/S	0	15	25	35
C				
20	●	●	●	●
40	●	●	●	●
60	●	●	●	●

B/S: 高炉スラグ微粉末の細骨材への置換率(%)

C: 単位セメント量(kg/m³)

コンクリート種類の読み方

(例) 20-25: 単位セメント量20kg/m³, B/S=25%を意味する。

セメントは、普通ポルトランドセメントを用いた。細骨材は、徳島県那賀川産の川砂（比重2.62、 $F.M=3.00$ ）、粗骨材は、和歌山県由良産の硬質砂岩砕石（最大寸法20mm、比重2.69）を用いた。粗骨材は使用に際して20～13mmと13～5mmを50%ずつ混合した。

混和剤はリグニンスルホン酸塩系のAE減水剤を用いた。

高炉スラグ微粉末（比重2.90）は同一供給源のものであり、比表面積4040、7140および10730 cm^2/g （以下4000、7000、10000という）の3段階に微粉碎したものである。表-1に高炉スラグ微粉末の化学組成を示す。

実験計画を表-2に示す。単位セメント量は20、40および60 kg/m^3 の3段階である。高炉スラグ微粉末は細骨材に置換えて使用し、置換率（B/S：容積割合）は0、15、25および35%の4段階とした。

コンクリートは最適細骨材率法で配合設計し、単位セメント量40 kg/m^3 、比表面積4000のスラグを細骨材に15%置換えたコンクリートについて $VC=20\pm10$ 秒、空気量2%を目標として、最適細骨材率と単位水量を試練りによって求めた。示方配合を表-3に示す。なお、配合には CaSO_4 を高炉スラグ微粉末に対して重量内割で5%添加している。実際は二水石膏を使用した。細骨材率は42%である。

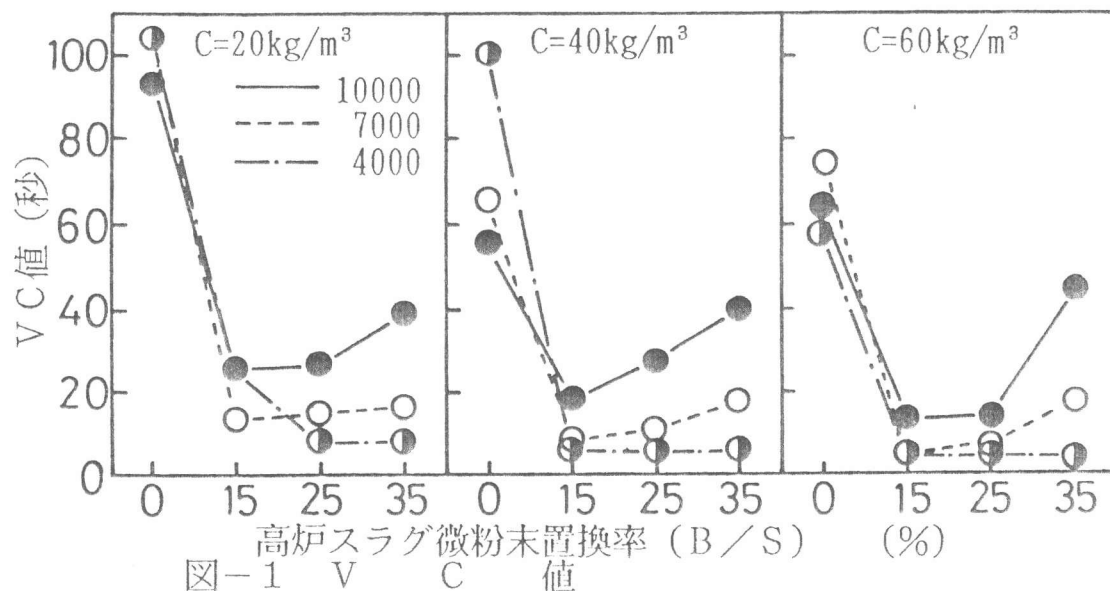


図-1 VC 値

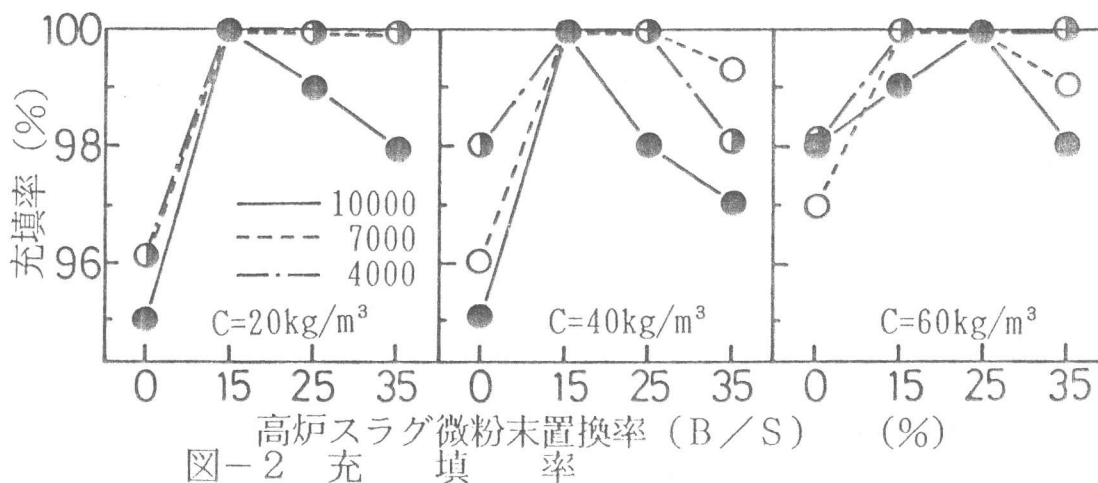


図-2 充填率

2. 2 供試体の作製、練混ぜおよび養生方法

コンクリートの練混ぜには強制練りミキサーを使用した。ミキサーに全材料を投入後2分間練混ぜた。供試体の締固めには電動ハンマー（3000 r. p. m）を用いた。供試体はコンクリート打込み後、材令1日でキャッピングを行い、材令2日で脱型して、試験日まで水中養生（ $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ）した。

3. 結果の考察

3. 1 V C 値と高炉スラグ置換率との関係

図-1はV C 値と高炉スラグ置換率との関係を示している。全てのコンクリートは同一単位水量であるが、高炉スラグ微粉末（以下スラグという）無混入のコンクリートのV C 値は単位セメント量が小さいほど大きくなる傾向がある。そして、スラグを細骨材と置換えることによってV C 値は大幅に低下することがわかる。その低下の程度は比表面積の小さいスラグほど大きくなる。

スラグの置換率が15%と25%ではV C 値に差はないが、置換率が35%になるとV C 値は若干増大する。特に比表面積10000の場合はその傾向が強く現われる。

3. 2 コンクリートの充填率

図-2はコンクリートの充填率とスラグ置換率との関係を示している。ここで充填率とは理論重量で単位容積重量を除いた値である。この結果から言えることはスラグ

を細骨材と置換えることによって単位セメント量にかかわらず充填率は向上することである。しかしながら、スラグの比表面積の違いによってその様相は若干異なる。比表面積の小さいスラグ4000の場合には多量に置換えても充填率は低下することはないが、比表面積が大きいものほどそれを多量に置換えると、しだいに充填率は低下することがわかる。これらの結果は前述したスラグの置換率とV C 値との関係からも推測でき、すなわち、V C 値が低くなると充填率は高くなる。

3. 3 圧縮強度

表-4 圧縮強度試験結果

コンクリート 種類	スラグ 比表面積 (cm^2/g)	圧縮強度(kgf/cm^2)		
		材令7日	材令28日	材令91日
20-0 -15 -25 -35	4000	17 106 155 181	22 144 191 219	25 168 219 274
20-0 -15 -25 -35	7000	17 125 176 188	22 158 198 205	25 179 264 292
20-0 -15 -25 -35	10000	17 143 183 191	22 182 206 232	25 206 268 311
40-0 -15 -25 -35	4000	20 175 226 275	30 268 305 310	31 299 320 337
40-0 -15 -25 -35	7000	20 191 236 260	30 266 300 300	31 281 330 330
40-0 -15 -25 -35	10000	20 185 220 250	30 281 297 300	31 300 300 326
60-0 -15 -25 -35	4000	35 207 289 328	52 313 356 370	52 349 361 387
60-0 -15 -25 -35	7000	35 250 316 318	52 301 328 338	52 360 404 410
60-0 -15 -25 -35	10000	35 272 286 301	52 320 340 340	52 362 365 369

圧縮強度に関する本実験結果を表-4に示す。

図-3は単位セメント量別に材令と圧縮強度との関係を示している。この図からわかることは単位セメント量が多いものほど圧縮強度は高く、いずれの単位セメント量の場合もスラグ置換率が高くなるほど圧縮強度は高くなっており、単位セメント量が少ないほど材令経過に伴う強度の伸びが概して高くなっている。

図-4は材令別に圧縮強度の発現割合を示している。発現割合は各単位セメント量ごとにスラグ無混入コンクリートの圧縮強度を100として算出したものである。材令7日では単位セメント量40kg/m³の場合が最も強度発現割合が高くなっている。またスラグ置換率が高くなるにしたがって強度発現割合も大きくなる。単位セメント量60kg/m³の場合はこの中で最も低い強度発現割合を示している。材令28日では単位セメント量40kg/m³と20kg/m³の場合はほぼ同程度の強度発現割合となり、60kg/m³の場合はそれらに比べてかなり低い。材令91日では単位結合材量40kg/m³と20kg/m³とではスラグ置換率の低いところでは40kg/m³の方が、置換率の高いところでは20kg/m³の方が若干高くなっている。

今回の結果と昨年までの結果^{[1], [2]}からスラグを細骨材と置換えることで圧縮強度発現割合が最も高くなる単位セメント量は大略40kg/m³程度のところに存在するように思われる。また以上の傾向はスラグの比表面積にはほとんど左右されないようである。

つぎに、スラグの比表面積と圧縮強度との関係について図-5に示す。スラグの置換率(B/S)が15%のところでは概して、比表面積10000のスラグを用いた場合の圧縮強度が最も高く、置換率25%では7000のスラグ、さらに置換率35%の場合は4000のスラグを使用したときに、圧縮強度が最も高くなる傾向がある。すなわち、スラグの置換率が低いところでは比表面積の大きいスラグを、そして置換率が高くなるにしたがって比表面積の小さいスラグを用いる方が圧縮強度は高くなると言えるようである。

表-4から、たとえば材令28日の圧縮強度300kgf/cm²程度を得ようとすれば、単

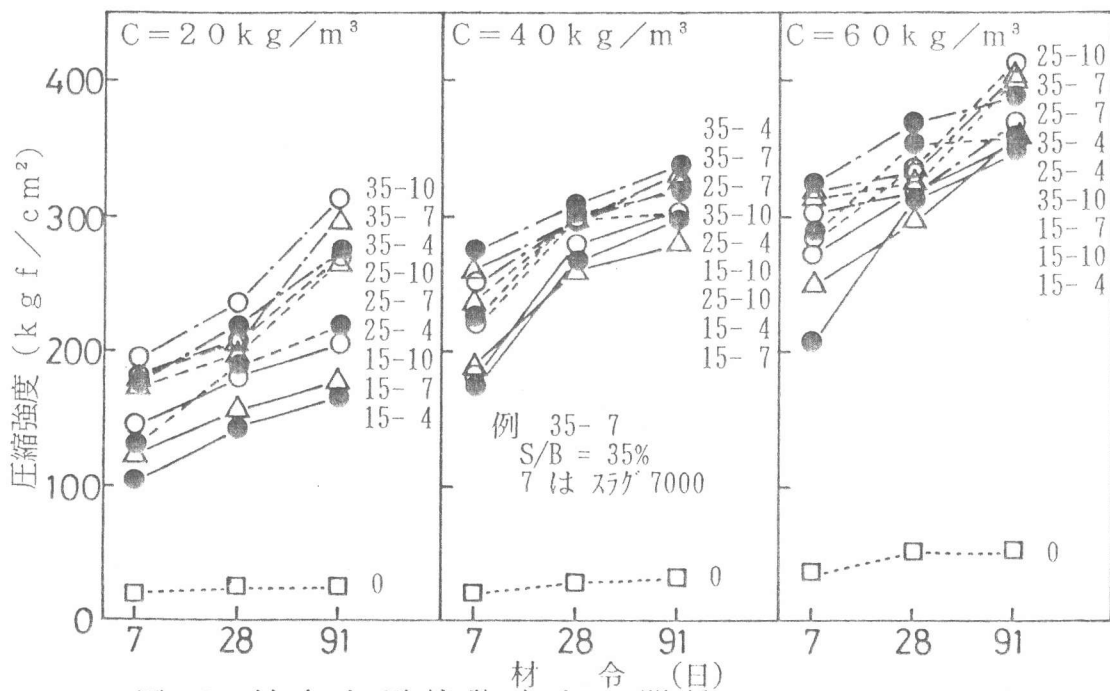


図-3 材令と圧縮強度との関係

位セメント量 20 kg/m^3 ではスラグを多量に入れても無理のようであり、単位セメント量 40 kg/m^3 ではスラグを 250 kg/m^3 程度、単位セメント量 60 kg/m^3 ではスラグを 150 kg/m^3 程度加えれば可能である。

3. 4 弾性係数

図-6 は圧縮強度と静弾性係数との関係を示している。同図には岡田^[3]、小阪^[4]および Pauw^[5]の実験結果を示しているが本実験結果は Pauw の結果に近いことがわかる。

図-7 は圧縮強度と動弾性係数との関係を示す。本実験結果と岡田の結果とはよく近似してい

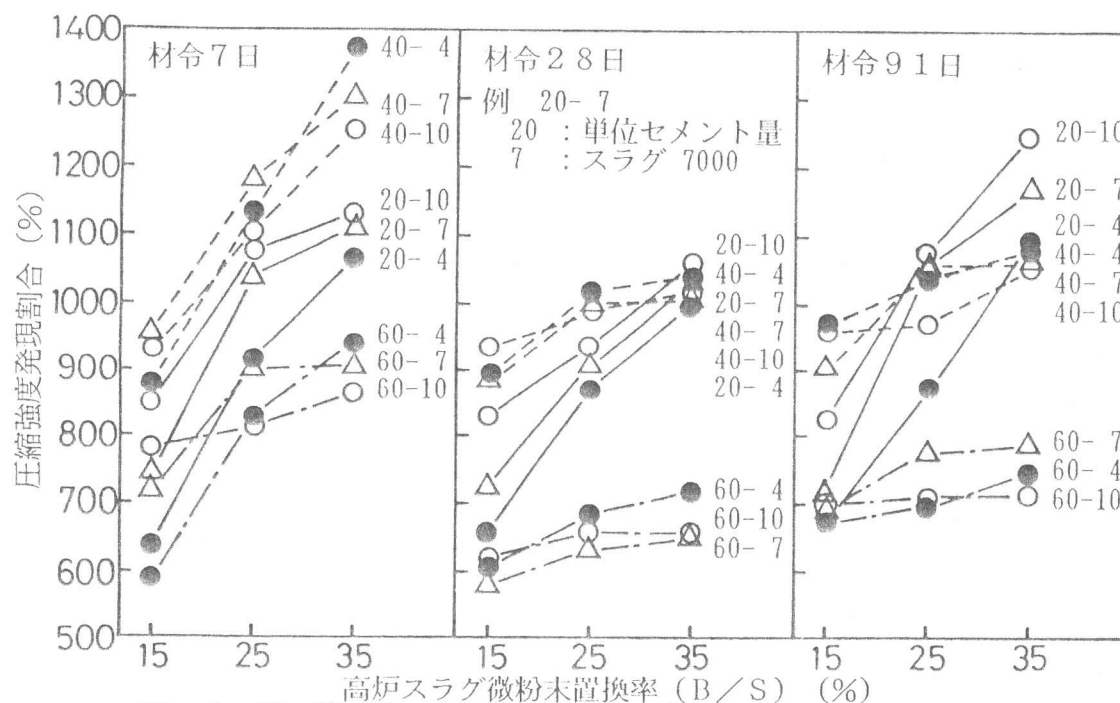


図-4 圧縮強度発現割合

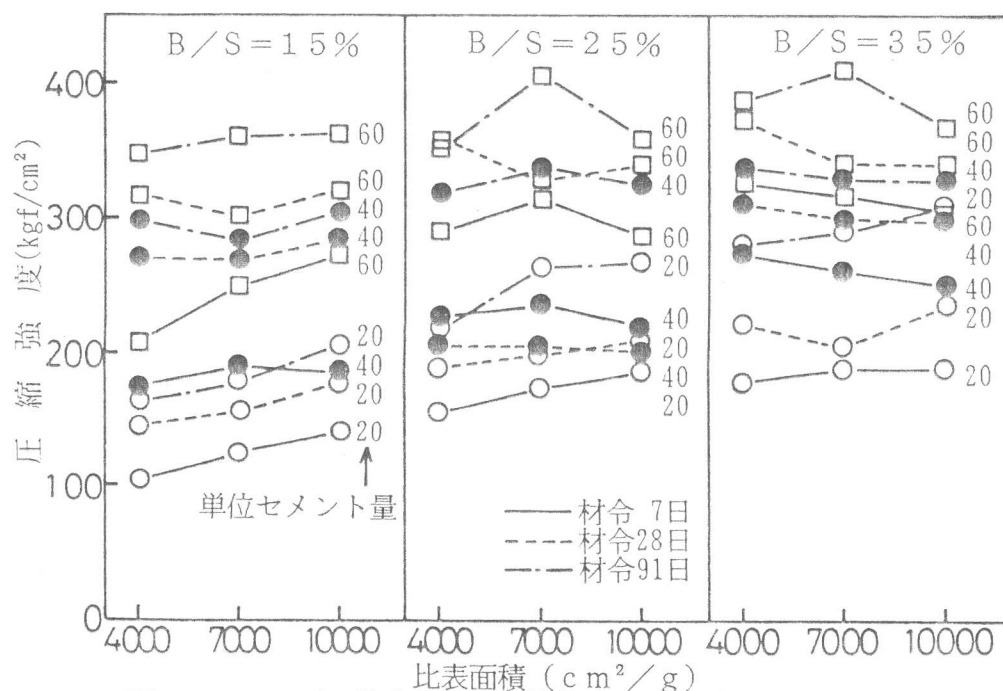


図-5 スラグの比表面積と圧縮強度との関係

ると考えられる。

4. 結論

本実験結果を要約すると次のとおりである。

①高炉スラグ微粉末を細骨材と置換えることでV C値は大幅に低下する。その低下の程度はスラグの比表面積が小さいほど大きくなる。

②高炉スラグ微粉末を細骨材と置換えることでコンクリートの充填率は高くなるが、その効果は比表面積の小さいスラグの方が高い。

③高炉スラグ微粉末を細骨材と置換えることで圧縮強度は大幅に増大する。その程度は単位セメント量が低いほど著しいが最も効果的な単位セメント量は大略40 kg/m³程度のところにあるように思われる。

④高炉スラグ微粉末を細骨材と置換えると単位セメント量が少ない配合ほど材令経過にともなう圧縮強度の伸びは高くなる。

[謝辞]

高炉スラグ微粉末は住金和歌山鉱化(株)に提供していただいた。付記して深謝します。

参考文献

- 1) 戸川 一夫、中本 純次：ノースランプ貧配合コンクリートに対する高炉スラグ微粉末の利用に関する研究，セメントコンクリート論文集，PP.126-131, No. 43, 1989
- 2) 戸川 一夫、中本 純次：貧配合ノースランプコンクリートに対する高炉スラグ微粉末の利用に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，PP. 71-74, 12-1, 1990
- 3) 岡田 清：高炉スラグ、高炉セメント系貧配合超硬練りコンクリートの調査研究，日本材料学会，1986, 3
- 4) 小阪 義夫、奥島 正一：人工軽量骨材コンクリートの力学的性質，材料，15-157, 1966, 10
- 5) Pauw, A.: Static Modulus of Concrete as effected by Density, J. ACI, Vol. 57, No. 12, 1960

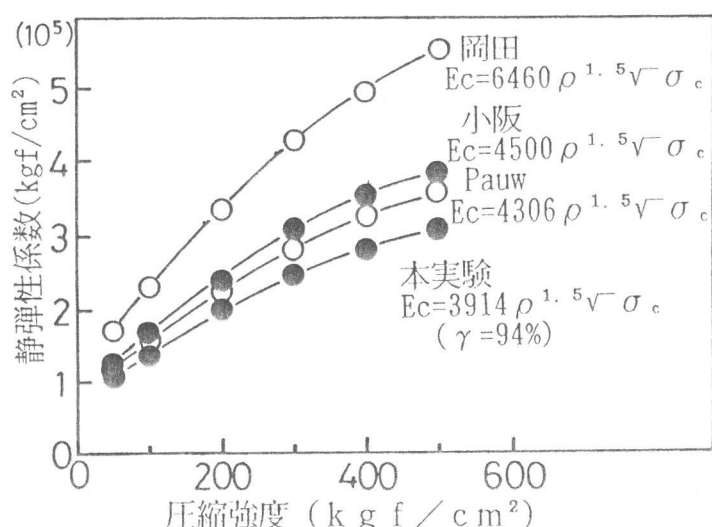


図-6 静弾性係数と圧縮強度との関係

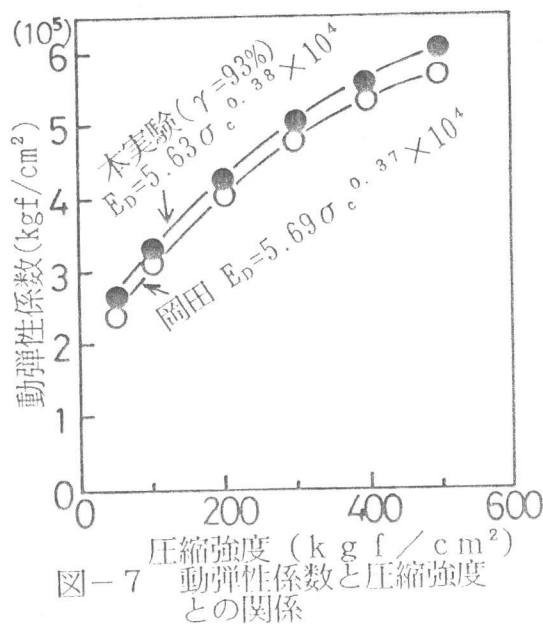


図-7 動弾性係数と圧縮強度との関係