

土木研究所資料

低品質骨材を含有したコンクリートの強度、
変形特性に関する実験的検討

平成5年5月

建設省土木研究所
ダム部ダム構造研究室

Copyright © (1993) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

低品質骨材を含有したコンクリートの強度、 変形特性に関する実験的検討

ダム構造研究室 室 長 永 山 功
主任研究員 渡 辺 和 夫
(前)部外研究員 向 江 幸 介

要 旨

コンクリートダムの合理化の一つに材料利用の合理化がある。しかし、材料利用の合理化についてはいまだ十分な研究がなされているとはいえない。特に、近年、原石山の骨材の中で規格外の低品質骨材が大量に廃棄され、自然環境の保全、保護上の大きな問題となっている。本報告書は、低品質骨材の利用技術を開発するため、低品質骨材として人工材料であるウレタンゴムを粗骨材の一部に使用して、コンクリートの圧縮試験を行った結果をとりまとめたものである。

キーワード：低品質骨材、骨材、コンクリート、ダム、
ウレタンゴム

目 次

まえがき

1. 試験目的	1
2. 予備試験	2
2.1 試験に用いる低品質骨材の検討	2
2.1.1 材料の検討	2
2.1.2 検討項目	2
2.2 コンクリートの配合	3
2.2.1 基本配合	3
2.2.2 低品質骨材コンクリートの配合	3
2.3 コンクリートの練り混ぜと供試体作製方法	5
2.4 予備試験結果	5
2.4.1 練り混ぜと供試体作製状況	5
2.4.2 強度および変形特性	6
2.4.3 試験に用いる低品質骨材	9
3. 低品質骨材を含有するコンクリートの強度、変形試験	11
3.1 低品質骨材の物性	11
3.2 試験仕様	11
3.2.1 試験方法	11
3.2.2 コンクリートの配合	13
3.2.3 計測項目と計測方法	14
3.3 試験結果	17
3.3.1 低品質骨材を含有するコンクリートの強度特性	17
3.3.2 低品質骨材を含有するコンクリートの変形特性	24
4. 試験結果まとめ	51
4.1 試験結果まとめ	51
4.2 今後の課題	52

低品質骨材を含有したコンクリートの強度、変形特性に関する実験的検討

土木研究所ダム部ダム構造研究室

室 長 永山 功

主任研究員 渡辺 和夫

(前)部外研究員 向江 幸介

まえがき

我国におけるコンクリートダム建設技術の合理化はRCD工法に代表される施工技術の合理化によって今日めざましい発展を遂げつつあるが、これから進むべき新しい合理化の方向は「築堤材料の合理化」であると言われている。すなわち、近年、ダムサイト近傍で高品質の骨材を効率的に確保することが次第に困難になり、骨材の製造単価が高騰するとともに、廃棄岩の処分、原石山の法面对策、原石山跡地の整備などが環境問題とからめて深刻な問題になりつつある。そこで、従来、規格外骨材として廃棄されてきた骨材を堤体設計面からの裏付けと保証の基で有効に利用する技術の開発が強く望まれているところである。

このような背景から、ダム構造研究室では、材料論および設計論の両面から低品質骨材をコンクリートの骨材として有効に利用する技術の開発、体系化を積極的に推し進めているが、本報告書は、その一環として、低品質骨材を含有するコンクリートの強度、変形特性について実験的検討を加えた結果について述べたものである。なお、今回の試験では、低品質骨材がコンクリートの強度、変形性に及ぼす影響を精度良く把握するため、一定の品質を有する低品質骨材として天然の骨材に代わってウレタンゴムを使用している。したがって、その試験結果は実際の低品質骨材を用いた試験結果とは完全に一致するものではないが、低品質骨材を用いたときのコンクリートの力学的特性の変化をより顕著に示すことができるものと考えている。なお、実際の低品質骨材を用いた試験についても今後鋭意実施する予定にしている。

1. 試験目的

原石山から採取された骨材が不良骨材として廃棄される理由としては、

- ① 骨材の物理的性質が問題となる場合
- ② 骨材の化学的性質が問題となる場合
- ③ 骨材の幾何学的形状が問題となる場合
- ④ 粘土塊、有機物などの有害物質が多量に混入する場合

などがあげられる。このうち、③についてはコンクリートの配合設計で十分対応が可能であり、④についても骨材の洗浄によって十分対応が可能である。したがって、今後解決すべき大きな課題は、①の物理的性質が問題となる骨材と②の化学的性質が問題となる骨材を有効に利用する技術の開発である。しかし、化学的性質が問題となる骨材を利用する技術を開発するには多くの困難が予想されるため、当面の課題は物理的性質が劣る骨材を有効に利用する技術の開発にあるといえる。

一方、ダムのコンクリートに要求される品質には、①単位体積質量、②強度、③水密性、④耐久性、⑤耐摩耗性などがあげられるが、重力式コンクリートダムでは堤体使用するコンクリートを外部コンクリートと内部コンクリートに大別することができ、外部コンクリートでは①から⑤までの品質が全て要求されるが、堤体の大部分を占める内部コンクリートでは要求される品質が単位体積質量と強度のみに限定されることとなる。したがって、これらの点について解決策が見いだされれば、低品質骨材を内部コンクリート用の骨材として有効に利用することが可能となる。

単位体積質量の問題は、堤体の断面積を大きくすることによって容易に解決することができる。しかし、強度の問題については、そのような低品質骨材を含有するコンクリートの強度特性、また堤体内の応力を算出する際に必要となるコンクリートの変形特性を十分に把握しておくことが必要となる。そこで、ここでは、コンクリート中の低品質骨材の含有量がコンクリートの強度、変形性に及ぼす影響を定量的に評価することを目的として各種試験を実施したものである。

2. 予備試験

2.1 試験に用いる低品質骨材の検討

2.1.1 材料の検討

今回の試験に用いる低品質骨材の材料が満たすべき条件として、以下のような条件があげられる。

- ① 通常の骨材に比べて変形係数が十分に小さいこと。
- ② ある程度の比重を有し、コンクリートの練混ぜや締固め中に材料の浮上や分離が起こりにくいこと。
- ③ 骨材の力学的特性のみが試験に影響を与えるような材料であること。たとえば、セメントの水和反応に影響を与えるような物質を含有したり吸水性、膨潤性を有する材料は適当でない。

ここでは、上記の条件を完全には満たしていないが、表-2.1に示す幾つかの材料を用いて実際にコンクリートを練り混ぜ、予備試験を行うこととした。予備試験に用いた材料は、可能な限り通常の骨材の分級粒径に相当する大きさのものを準備することとした。なお、この他、候補として挙げたが、今回の予備試験の対象から除外した材料には次のようなものがある。

煉瓦；軟らかくて脆いという印象であったが、実際に一軸圧縮試験を行ったところ圧縮強度が500kgf/cm²という高強度を有していた。

石膏；珪藻土を配合することで強度の調整が可能であるが、水溶性があるため水を含むと強度が低下する。

ゴム球；縁日や駄菓子屋でよく見かけるゴム球である。特性的にはウレタンゴムと同じと考え、物性がある程度明かなウレタンゴムを採用した。

表-2.1. 検討材料

検 討 材 料	形 状	寸 法	比 重	備 考
1. ウレタンゴム	円 柱	$\phi=10$, $H=10\text{mm}$ $\phi=20$, $H=20\text{mm}$ $\phi=30$, $H=30\text{mm}$	1.1 g/cm ³	今回の材料候補の中では、最も適性が期待される。均質な練り混ぜができるかが問題
2. コルク	円 柱	$\phi=10$, $H=10\text{mm}$ $\phi=18$, $H=20\text{mm}$ $\phi=38$, $H=30\text{mm}$ (ϕ は平均径)	0.24 g/cm ³ (吸水後)	吸水性・水中での有機分の溶出が懸念される
3. 発砲スチロール	球	直径 ; 24mm	≈ 0	比重は極めて小さく材料の分離が懸念される

2.1.2 検討項目

ウレタンゴム、コルクなどを混入したコンクリートを用いて供試体を作製し、以下のような項目について検討を行い、その結果を総合的に判断し、本試験に用いる材料の選定を行う。

- ① 各材料を用いたコンクリートの練り混ぜ状況の観察

- ② 各材料の混入率と圧縮強度の関係
- ③ 各材料の混入率と弾性係数の関係
- ④ 切断による供試体内部の観察

なお、②③④は必要に応じて実施するものとした。

2.2 コンクリートの配合

2.2.1 基本配合

ここでは低品質骨材を混入しないコンクリートの配合を「基本配合」と呼ぶ。ウレタンゴムなどの特殊な材料が混入するコンクリートの特性を調べる場合、その基本配合は、RCD用コンクリートのような貧配合コンクリートよりもある程度流動性に富む富配合コンクリートのほうが有利であると考えられる。そこで、予備試験のコンクリート配合は、重力式コンクリートダムに用いる従来コンクリートの内部配合相当とすることとした。表-2.2 にその配合を示す。この配合は、在来工法による7つの重力式コンクリートダムの内部配合を参考に40mmオーバーの骨材をウェットスクリーニングした配合に換算して決定したものである。なお骨材には、笠間産の砂岩碎石を使用した。

表-2.2 予備試験に用いたコンクリートの基本配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)						混和剤
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G			
								40mm ~ 20mm	20mm ~ 10mm	10mm ~ 5mm	
40	4±1	4±1	60	35	148	247	660	471	484	318	0.62

セメント；中庸熱ポルトランドセメント，比重=3.21

細骨材；笠間産砂岩，比重=2.60

粗骨材；笠間産砂岩，比重=2.65

混和剤；AE減水剤

2.2.2 低品質骨材を混入したコンクリートの配合

低品質骨材の混入量を表すパラメータは、基本配合の粗骨材容積に対する低品質骨材の混入容積の比で表し、これを混入率と定義する。なお、各配合において、低品質骨材と普通骨材の容積の和は常に一定とした。したがって、低品質骨材を混入したコンクリートの容積配合は、粗骨材の混入率を除いて基本配合と同じである（ただし、ケース5を除く）。予備試験に用いた容積配合および低品質骨材として用いた各材料（ウレタンゴム、コルク、発砲スチロール）の混入率を図-2.1 に示す。

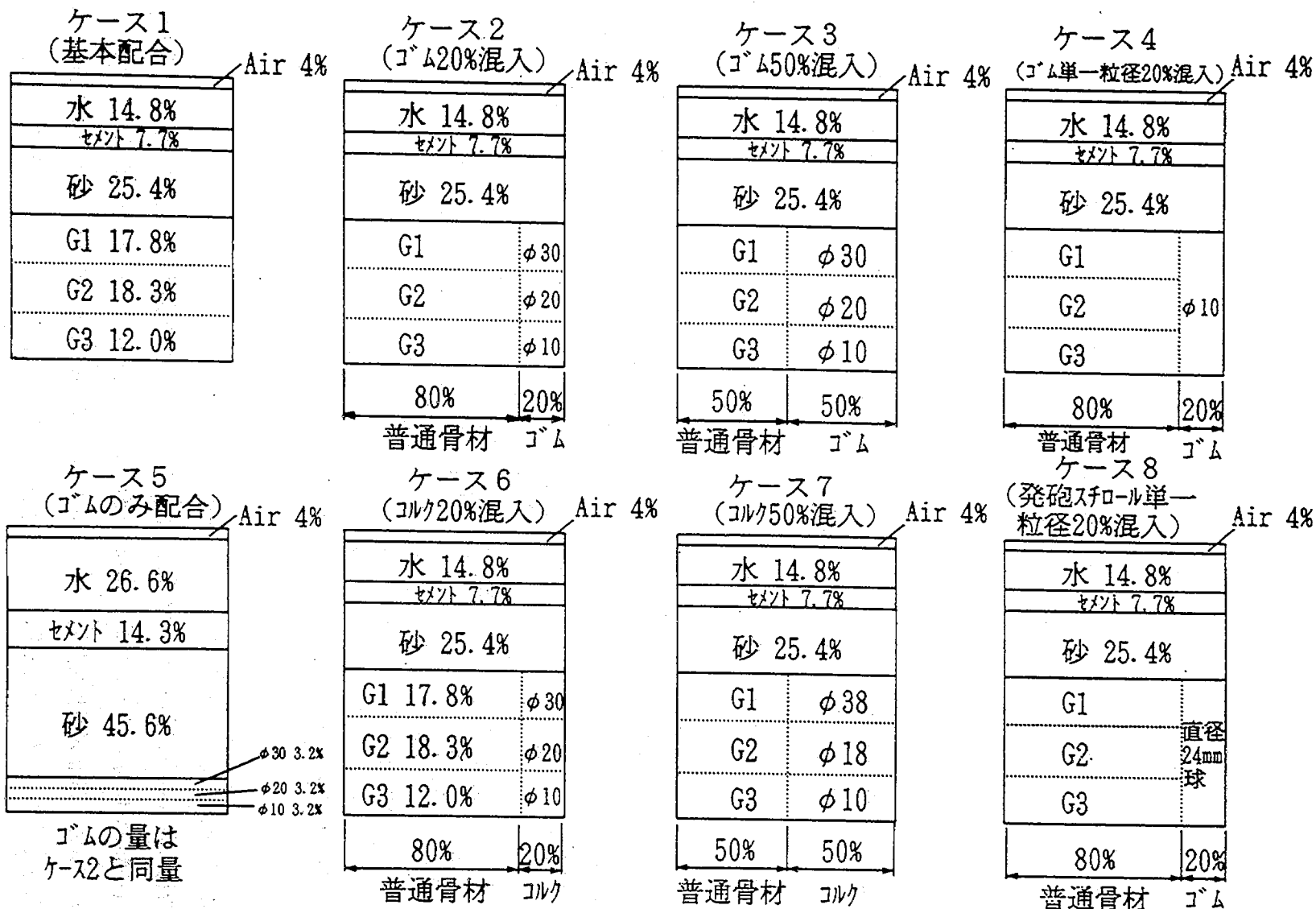


図-2.1 各種材料の混入率

2.3 コンクリートの練り混ぜと供試体の作製方法

予備試験におけるコンクリートの練り混ぜ方法と供試体の作製方法は次のとおりである。

① 練り混ぜ量；

1バッチの練り混ぜ量は18ℓとした。

② 練り混ぜ方法；

コンクリートの練り混ぜは、練り混ぜ量を考慮して手練りとした。練り混ぜの手順は次のとおりである。

- (1) 容器に計量した材料を準備する。
- (2) 練り板を準備し、表面の水分をウェスで拭う。
- (3) 砂、セメントの順に練り板に空け、良く切り返しを行いながら練り混ぜる。
- (4) 水（混和剤を事前に入れる）を入れ、モルタルを練る。
- (5) 普通骨材の粒度の小さいものから順に空け、空ける毎に軽く切り返す。
- (6) 次に低品質骨材も同様に空け、低品質骨材が均質に分布し、モルタルが低品質骨材の表面に充分に行きわたるまで切り返しを行いながら練り混ぜる。

③ スランプ試験；

JISの方法に準じてスランプ試験を行う。

④ 供試体作製；

供試体は標準供試体（φ150mm，H300mm）とする。供試体の作製手順は次のとおりである。

- (1) 3層詰めとし、各層をバイブレータで十分に締め固める。この後木槌で型枠を軽く叩き気泡を追い出す。
- (2) 同様な手順で3層の締め固めを行った後、型枠にガラス板をかぶせて一日置く。
- (3) 翌日、コンクリートの表面をはつり、レイトンスを除去する。この際、緩めてしまった低品質骨材は可能な限り除去する。
- (4) ペーストでキャッピングを行う。ペーストの配合はW/C=28%とする。
- (5) 翌日、供試体を脱型し、水槽で所要の日数水中養生する。
- (6) 強度試験の6日前に水槽から供試体を取り出し常温で乾燥させる。

2.4 予備試験結果

2.4.1 練り混ぜと供試体作製状況

各材料を用いたフレッシュコンクリートの性状を表-2.3に示す。表-2.3に示すように、練り混ぜ状況を見る限りでは、ウレタンゴムとコルクが良好であった。発砲スチロールは比重が小さいためか、分離しやすいように見受けられた。また、発砲スチロールの場合には、スランプ測定の際、すぐに崩れてスランプ値は測定できなかった。これはコンクリートの重さに、発砲スチロールが抵抗できないためと思われる。また、ウレタンゴム単独の場合にもコンクリートが崩れる状況が発生したが、これはコンクリートの重さに抵抗すべき骨材の噛み合わせが確保できないためと思われる。このように、比重が極端に小さい場

表-2.3 コンクリート練り混ぜ状況

検討材料	ケース	混入率	スランプ	練り混ぜ状況
基本配合	1	0 %	4.5 cm	—
1. ウレタンゴム	2	20 %	5.5 cm	・ゴム混入後切返し5往復程度で、ゴム表面にペーストが充分付着する。 ・$\phi 30\text{mm}$のゴムの分離が目立つが、概ね均一なコンクリートを練り上げることが可能。分離の程度は混入率の大きい方が目立つ。 ・ケース5は、かなり流動性が大きい。
	3	50 %	5.3 cm	
	4	20% 単一粒径	5.0 cm	
	5	ゴムのみ	測定不能	
2. コルク	6	20 %	4.7 cm	・練り混ぜ状況はウレタンゴムの場合と大きな違いはない。 ・50%の場合のスランプが大きい。
	7	50 %	9.5 cm	
3. 発砲スチロール	8	20 % (単一粒径)	測定不能	・ペーストの付着があまり良好でない。 ・比重が小さいためか、練り混ぜの際にはじかれて分離する。

合、または骨材の噛み合わせが確保されない場合には、コンクリートのスランプの特性が大きく変わることがわかった。

次に、コンクリート中に低品質骨材が均等に分布したかどうかの確認をするため、硬化後のコンクリート供試体を舗装コンクリート用の大型切断機で縦方向に切断して、その断面を観察することとした。供試体の切断は、ウレタンゴムを20%混入したものと、50%混入したものの1本づつについて実施した。しかし、ウレタンゴムを50%混入したものについては、ウレタンゴムが切断機の刃に焼き付いて切断不能となった。ウレタンゴムを20%混入した供試体の切断面のスケッチを図-2.2に示す。これによると、ウレタンゴムは概ね均一に供試体内部に分布していることがわかる。この他、ウレタンゴムを混入した供試体数本に対して、割裂試験の方法によって供試体を割裂し、その内部を調べたところ概ね均一にウレタンゴムが混入していることが確認された。

2.4.2 強度および変形特性

低品質骨材としてウレタンゴム、コルク、発砲スチロールを混入したコンクリート、及び低品質骨材を混入しない基本配合のコンクリートに対して一軸圧縮強度試験を実施した。試験結果を表-2.4に示す。

強度試験結果をもとに、低品質骨材の混入率と圧縮強度、弾性係数の関係を図-2.3、図-2.4にそれぞれ示す。ここで弾性係数は、圧縮強度の1/4の応力度における割線弾性係数で、ひずみ値は長さ80mmのひずみゲージを供試体側面の4ヶ所に張り付けて測定した。

表-2.4、図-2.3、図-2.4から次のような特性が明かとなった。

- ① 低品質骨材の混入率の増加に伴って強度、弾性係数とも明かな低減傾向が認められる。
- ② 混入率を一定とした場合、材料の違いによる強度の差はほとんど認められないが、コルクのケースが他の材料よりも若干小さな値を示している。なお、ウレタンゴムのケースでは、3種粒径と単一粒径で、両者に差異は認められない。

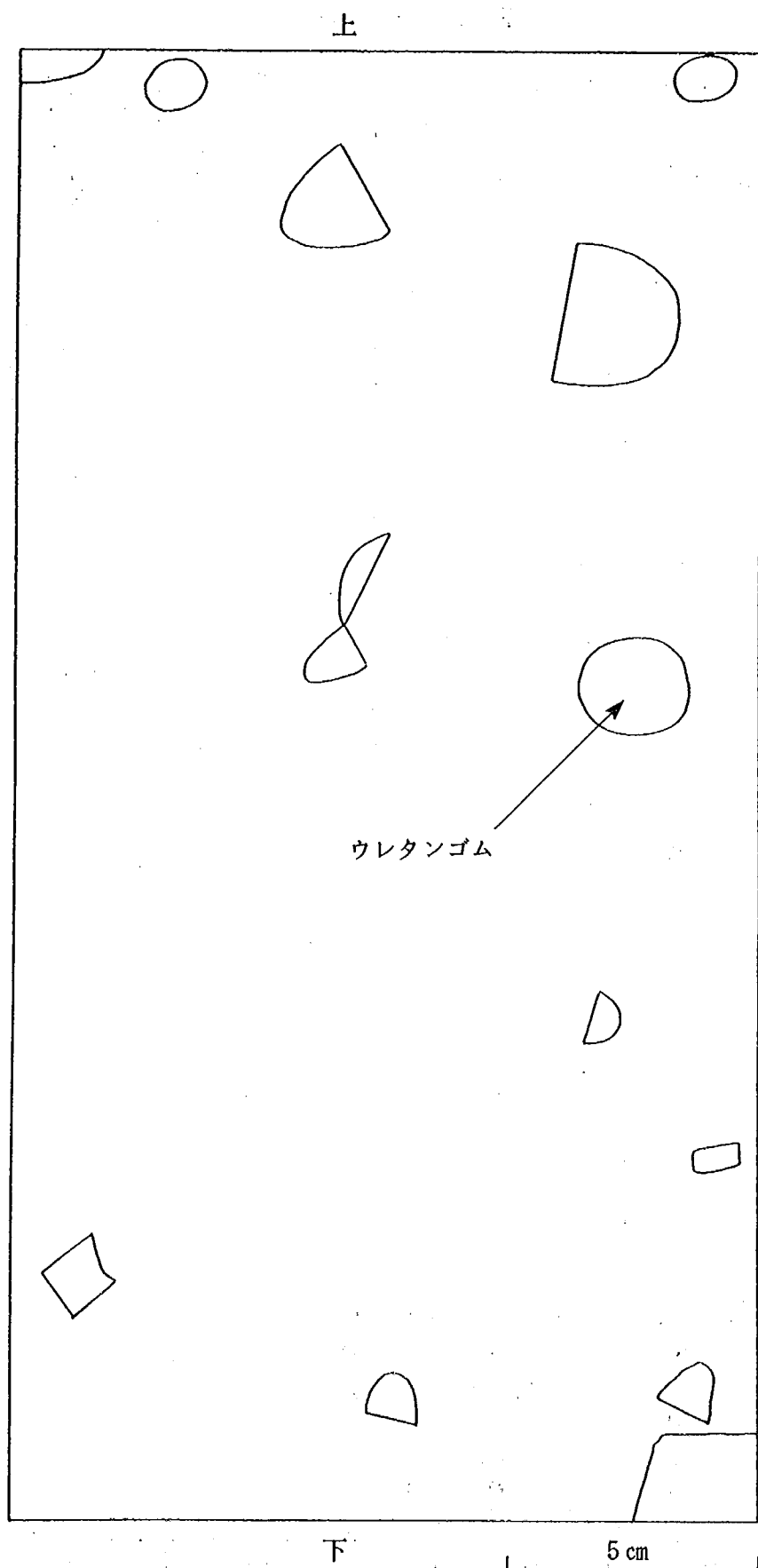


図-2.2 供試体断面のスケッチ

表-2.4 予備試験結果

ケース	低品質骨材材料	No.	混入率 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)
ケース 1	(基本配合のコンクリート)	1	0	166.4	294000
		2	0	174.3	—
		3	0	167.5	288000
ケース 2	ウレタンゴム	1	20	114.3	175000
		2	20	132.4	—
		3	20	113.2	210000
ケース 3	ウレタンゴム	1	50	66.8	76000
		2	50	63.9	—
		3	50	76.4	98000
ケース 4	ウレタンゴム (単一粒径)	1	20	116.6	187000
		2	20	116.6	180700
ケース 5	ウレタンゴム (普通骨材使用せず)	1	100	117.7	82000
		2	100	143.2	—
		3	100	191.3	209000
ケース 6	コルク	1	20	108.1	—
		2	20	109.8	284000
		3	20	109.2	268000
ケース 7	コルク	1	50	57.2	143000
		2	50	65.1	131000
		3	50	47	—
ケース 8	発砲スチロール	1	20	119.4	213000
		2	20	124.5	266000
		3	20	128.5	—

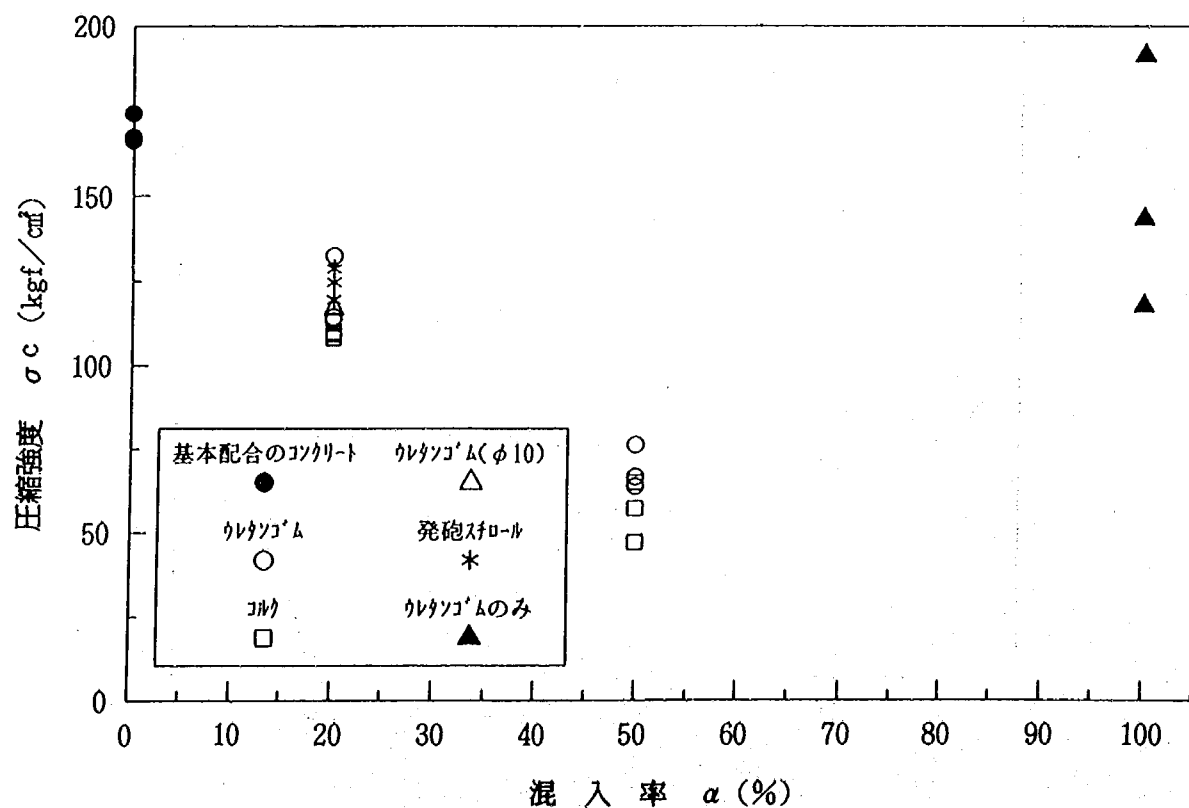


図-2.3 低品質骨材の混入率と圧縮強度の関係

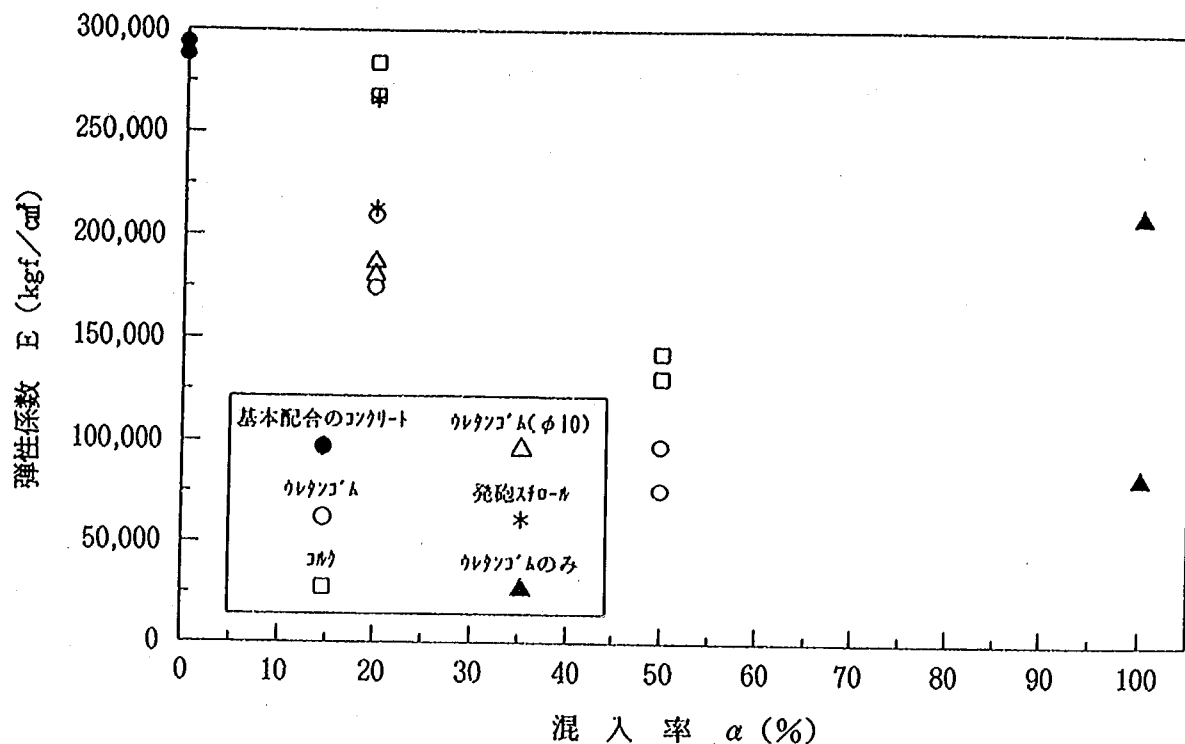


図-2.4 低品質骨材の混入率と弾性係数の関係

③ 一方、弾性係数に関しては、各材料間でばらつきが大きい結果となっている。またコルクのケースが他のケースに比べ弾性係数が高い。

④ ウレタンゴムのケースで普通骨材を全く使用しなかったケースは、他のケースに比べて圧縮強度・弾性係数ともにばらつきが大きい。

2.4.3 試験に用いる低品質骨材

予備試験結果から、練り混ぜ時の状況、供試体作製の状況および強度、変形特性より材料の適性を整理すると、表-2.5～表-2.7に示すとおりとなる。

これらの結果から、低品質骨材としてウレタンゴムが他の材料に比べ優れていると判断された。しかし、ゴムはポアソン比に関してかなり特異な性質を有している。すなわち、理科年表によると、ゴムのポアソン比は0.46～0.49とされており、ウレタンゴムもこれに近い材料物性であると考えられる。ポアソン比が大きいと、コンクリート供試体に一軸状態で載荷を行ったとき、コンクリート中のウレタンゴムに大きな横ひずみが生じ、その結果ウレタンゴムの上下端に接するコンクリートに引張応力が生じ、その影響が懸念される。そこで、ポアソン比に起因する引張応力の影響を、有限要素法を用いた応力解析により定量的に把握することを試みた。すなわち、図-2.5に示すようなモデルにより、平面ひずみの条件で応力解析を行った。骨材の弾性係数を500kgf/cm²（変形試験により確認）としてポアソン比を0.20と0.49で比較した場合、着目する要素の引張応力は、ポアソン比を0.49とした場合の方が0.20とした場合よりも約2%程度しか大きくならないことが明かとなり、今回の圧縮強度試験におけるウレタンゴムのポアソン比の影響は無視できるものと判断された。

以上の結果から、本試験に用いる低品質骨材はウレタンゴムとし、また練り混ぜ時の状況を考慮して、ウレタンゴムの粒径としてφ20mmとφ10mmの大きさのものを用いることとした。

表-2.5 材料によるコンクリートの特性の違い

検 討 材 料	練混ぜ状況	強度特性	変形特性	備 考
ウレタンゴム	○	○	○	φ30mm粒径の分離が目立つ
コルク	○	△	△	有機分の含有が懸念される
発砲スチロール	△	○	○	コンシステンシーが変化する

○; 特に問題なし

△; やや難あり

×; 不適

表-2.6 粒径によるコンクリート特性の違い

検 討 材 料	材 料 粒 径	練混ぜ状況	強度特性	変形特性	備 考
ウレタンゴム	3種 (φ30, 20, 10mm)	○	○	○	φ30mmは不適
	1種 (φ10mm)	◎	○	○	

◎; すぐれている

○; 特に問題なし

表-2.7 普通骨材を入れない場合のコンクリートの特性

検 討 材 料	検 討 種 目	練混ぜ状況	強度特性	変形特性	備 考
ウレタンゴム	普通骨材有り	△	○	○	
	普通骨材なし	△	×	×	

○; 特に問題なし

△; やや難あり

×; 不適

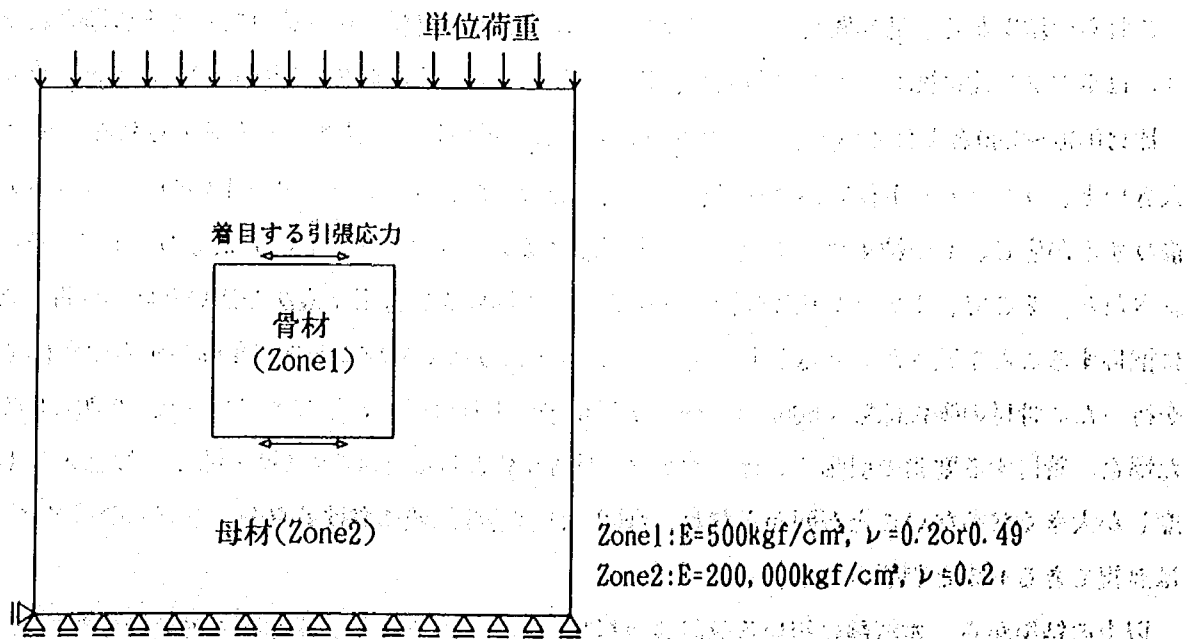


図-2.5 有限要素法による応力解析モデル

3. 低品質骨材を含有するコンクリートの強度、変形試験

3.1 低品質骨材の物性

まず、今回低品質骨材の代用として用いるウレタンゴムの物性や特徴について述べる。ウレタンゴムの規格は、硬度と形状で規定されており、必要に応じた硬度（普通、硬度60°～硬度100°程度）と形状（柱状で断面が円形と正方形のものがある）を選ぶことができる。ここで硬度とは、ウレタンゴムの硬さを現す指標で、その硬度を測定する試験方法はJISで規定されている。今回、実験（本実験）に使用したウレタンゴムは硬度90°の円柱形（ $\phi 10\text{mm}$ と $\phi 20\text{mm}$ ）のもので、購入した業者に依頼して直径と同じ長さに切断したものを骨材として使用した（図-3.1 参照）。

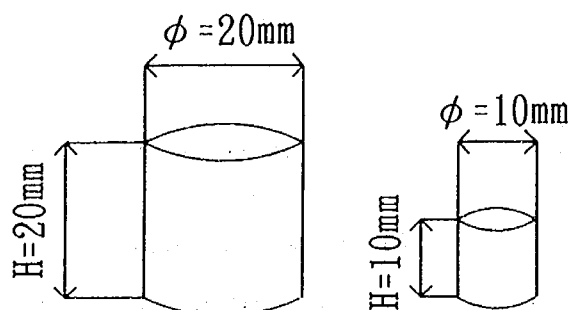


図-3.1 ウレタンゴムの諸元

ウレタンゴムの密度、弾性係数、ポアソン比などの物性は次のとおりである。

密度 ; 1.136 g/cm^3

弾性係数 ; 500 kgf/cm^2

ポアソン比 ; $0.46 \sim 0.49$ (推定)

弾性係数は、試験に使用するウレタンゴムと同じ硬度で $\phi 30\text{mm}$ 、 $H 60\text{mm}$ の試料を用いて、土質試験用の一軸圧縮強度試験機で応力-ひずみ関係（図-3.2 参照）を求めて算定した。

ポアソン比は理科年表によるゴムの値を用いた。予備試験結果の検討で述べたように、ポアソン比の大きさは強度試験結果にほとんど影響を与えないと考えられる。

3.2 試験仕様

3.2.1 試験方法

試験は、低品質骨材の混入率を0%、5%、10%、15%、20%、40%、60%とした7ケースについて実施するものとした。

試験材令は28日および91日として、それぞれの材令ともに上記7ケースについて試験を実施した。2種類の材令で試験を実施する目的は、低品質骨材を含有するコンクリートの強度の材令依存性を調べることである。

試験に使用した供試体は、直径15cm、高さ30cmの標準供試体である。各ケースおよび各材令における供

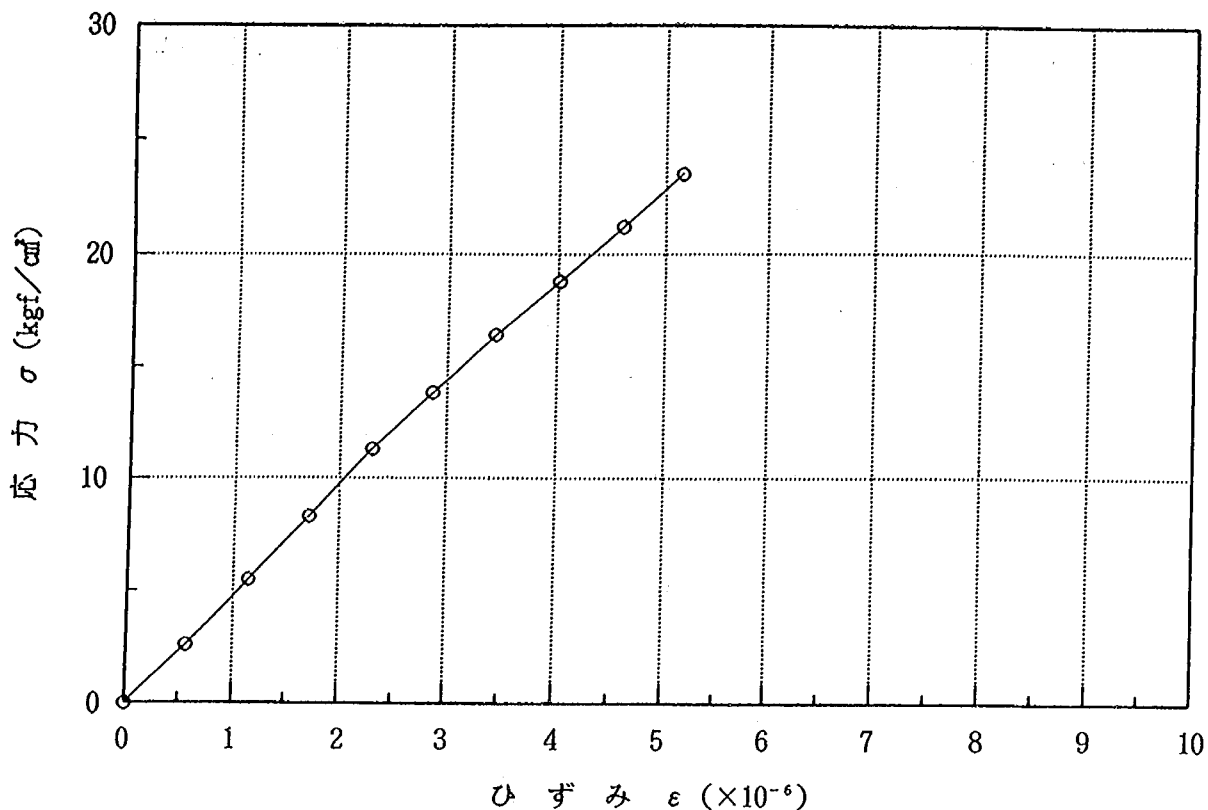


図-3.2 ウレタンゴムの応力-ひずみ曲線

試体の試験本数は表-3.1に示すとおりであり、各ケースとも1ケースを1バッチで練り上げるものとした。なお全作業工程の関係で、全ケースの供試体の作製を3回に分けて行うため、各工程日ごとの物性値の変動を考慮して、基本配合のコンクリートの供試体は毎日作製するものとした（これをそれぞれケース0-1、ケース0-2、ケース0-3と呼ぶ）。

コンクリートの練り混ぜと供試体の作製方法は以下に示すとおりである。

① 練り混ぜ方法；

練り混ぜ量を考慮して手練りとする。練り混ぜの手順は次のとおりである。

- (1) 容器に計量した材料を準備する。
- (2) 練り板を準備し、表面の水分をウェスで拭う。
- (3) 砂、セメントの順に練り板に空け、良く切り返しを行いながら、練り混ぜる。
- (4) 水（混和剤を事前に入れる）を入れ、モルタルを練る。
- (5) 普通骨材の粒度の小さいものから順に空け、空ける毎に軽く切り返す。
- (6) 次に低品質骨材も同様に空け、低品質骨材が均質に分布し、モルタルが低品質骨材の表面に十分に行きわたるまで切り返ししながら練り混ぜる（5往復程度の切り返しではほぼ均質となる）。

② 供試体作成；

供試体の作製手順は次のとおりである。

- (1) 練り上げたコンクリートを3層に分け、各層をバイブレータで適度に締め固める。この後、木槌で型枠を軽く叩き気泡を追い出す。

表-3.1 ケース別供試体本数

(単位：本)

工 程	ケース	低品質骨材混入率	材令28日	材令91日	合 計
1	ケース0-1	0%	5	3	8
	ケース1	5%	5	3	8
	ケース2	10%	5	3	8
2	ケース0-2	0%	3	2	5
	ケース3	15%	5	3	8
	ケース4	20%	5	3	8
3	ケース0-3	0%	3	2	5
	ケース5	40%	5	3	8
	ケース6	60%	5	3	8

合計：66本

- (2) 同様な手順で3層の締固めを行った後、型枠にガラス板をかぶせて一日置く。
- (3) 翌日、コンクリートの表面をはつり、レイトンスを除去する。この際暖めてしまった低品質骨材は可能な限り除去する。
- (4) ペーストでキャッピングを行う。ペーストの配合はW/C=28%とする。
- (5) 翌日供試体を脱型し、水槽で水中養生する。
- (6) 強度試験の6日前に水槽から供試体を取り出し常温で乾燥させる。

3.2.2 コンクリートの配合

[1] 基本配合

低品質骨材を混入しないコンクリートの配合を基本配合とよぶ。コンクリートの基本配合は、予備試験の結果が概ね良好であったことから、予備試験と同様の配合とする。ただし、予備試験の配合よりも若干硬練りとした方が、ウレタンゴムの分離を抑え、より均質なコンクリートを得ることができるとの印象を受けたため、予備試験の配合を多少修正することとした。配合の修正は、スランプ値により操作することとし、経験則に従いスランプ値±1cmの修正に対して単位水量±1.2%修正するものとした。目標とするスランプ値は3±1cmとし、上記修正方法に従って、数回のトライアルを行った結果、表-3.2に示す配合を得た。このときのスランプ値は2.2cmである。この配合をもってコンクリートの基本配合とする。

[2] 低品質骨材を含有するコンクリートの配合

低品質骨材を混入したコンクリートの配合は、基本配合の粗骨材容積の一部をウレタンゴムに置き換えたものとなる。ケース0の基本配合およびケース1～ケース6の低品質骨材を含有するコンクリートの配合を表-3.3に示す。

表-3.2 コンクリートの基本配合

粗骨材 最大 寸法 (mm)	スラン プの 範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨 材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
					水 W	セメ ント C	細骨材 S	粗骨材 G			混和剤
								40mm ~ 20mm	20mm ~ 10mm	10mm ~ 5mm	
40	3±1	4±1	60	35	150	250	672	466	479	315	0.63

注1) 予備試験の配合に対してスランプ値1cm減の修正を行ったにもかかわらず、単位水量が増えているのは、予備試験では細骨材の表面水準による単位水量の補正を行わなかったためである。

注2) 使用材料は次のとおり、

セメント；中庸熱ポルトランドセメント，比重=3.21

細骨材；笠間産砂岩，比重=2.60

粗骨材；笠間産砂岩，比重=2.65

混和剤；AE減水剤

表-3.3 コンクリートの試験配合表

ケース - ウレタンゴム 混入率	水セメ ント比 W/C (%)	細骨 材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)							
			水 W	セメ ント C	細骨材 S	粗骨材 G			ウレタンゴム U	
						40 mm ~ 20 mm	20 mm ~ 10 mm	10 mm ~ 5 mm	φ20 (mm)	φ10 (mm)
ケース 0 - 0%	60	35	150	250	672	466	479	315	0	0
ケース 1 - 5%	60	35	150	250	672	443	455	299	13.504	13.50
ケース 2 - 10%	60	35	150	250	672	419	431	284	27.007	27.00
ケース 3 - 15%	60	35	150	250	672	396	407	268	40.510	40.51
ケース 4 - 20%	60	35	150	250	672	373	383	252	54.013	54.01
ケース 5 - 40%	60	35	150	250	672	280	287	189	108.03	108.0
ケース 6 - 60%	60	35	150	250	672	186	192	126	162.04	162.0

注1) ウレタンゴムはφ20とφ10を1対1の比率で混合したものを、粒径5~40mmの全粗骨材に対して所定の混入率で混ぜる。

注2) AE減水剤はセメント量の0.25%

3.2.3 計測項目と計測方法

計測項目は次のとおりである。

① 供試体の重量

② 供試体の圧縮強度

③ 荷重

- ④ 供試体の横ひずみ
- ⑤ 供試体の縦ひずみ
- ⑥ 供試体の変形量

以下に、これらの計測項目の計測方法を述べる。

〔１〕重量の測定

それぞれの供試体の含水条件を同じにするため、養生水槽から取り出した供試体表面の水分を拭き取った直後に、湿潤状態で供試体の重量を測定する。また、補足的に強度試験直前の供試体重量についても測定を行う。

〔２〕圧縮強度試験

圧縮強度試験は J I S に規定する方法に準じて行い、載荷時の①荷重、②縦ひずみ、③横ひずみ、④変形量の計測を行う。荷重、縦ひずみ、変形量の計測は全供試体について実施し、横ひずみの計測は一部の供試体で実施する。表-3.4 に計測するひずみと供試体本数の関係を示す。

荷重、ひずみおよび変形量の計測システムを図-3.3 に示す。また、ひずみゲージの貼り付け方法および変位計の取り付け方法を図-3.4、図-3.5 にそれぞれ示す。

データのサンプリングは、ひずみアンプのディスプレイを見ながら手動操作により荷重 1 ㎏ ごとにやった。ただし、最大荷重に近いところでは小刻みにサンプリングを行った。サンプリングしたデータは、ひずみアンプに内蔵のシステムでフロッピーディスクに記録した。なお、ひずみアンプにはプリンターを内蔵しているが、プリンターを併用するとデータを読み込む速度が低下して小刻みなサンプリングができなくなることから、プリンターは使用しないこととした。

表-3.4 測定項目別供試体本数

(単位：本)

ケース	低品質骨材混入率	材 令 28 日		材 令 91 日		合計
		縦ヒズミ	縦・横ヒズミ	縦ヒズミ	縦横ヒズミ	
ケース 0-1	0 %	3	2	2	1	8
ケース 1	5 %	3	2	2	1	8
ケース 2	10 %	3	2	2	1	8
ケース 0-2	0 %	3	0	2	0	5
ケース 3	15 %	3	2	2	1	8
ケース 4	20 %	3	2	2	1	8
ケース 0-3	0 %	3	0	2	0	5
ケース 5	40 %	3	2	2	1	8
ケース 6	60 %	3	2	2	1	8

合計：66 本

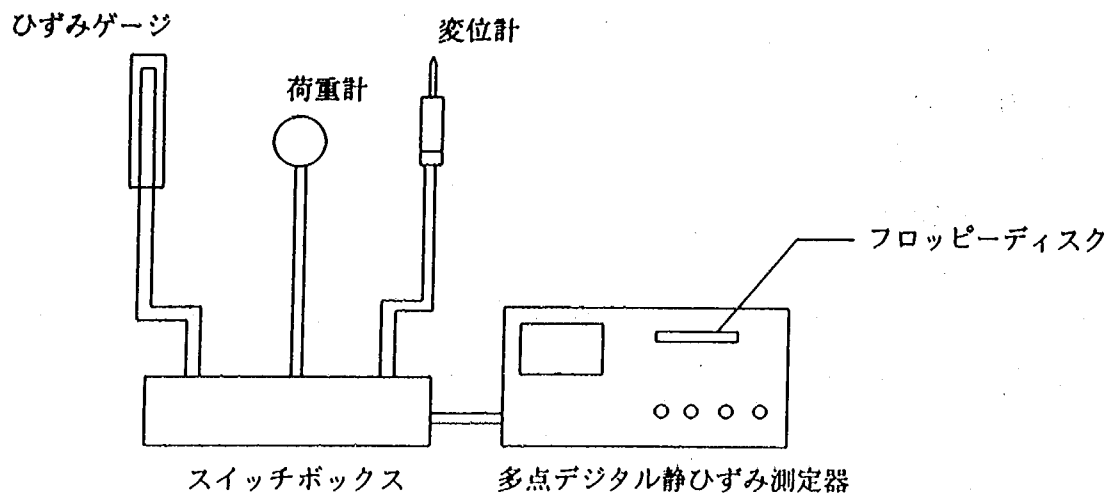


図-3.3 計測システム

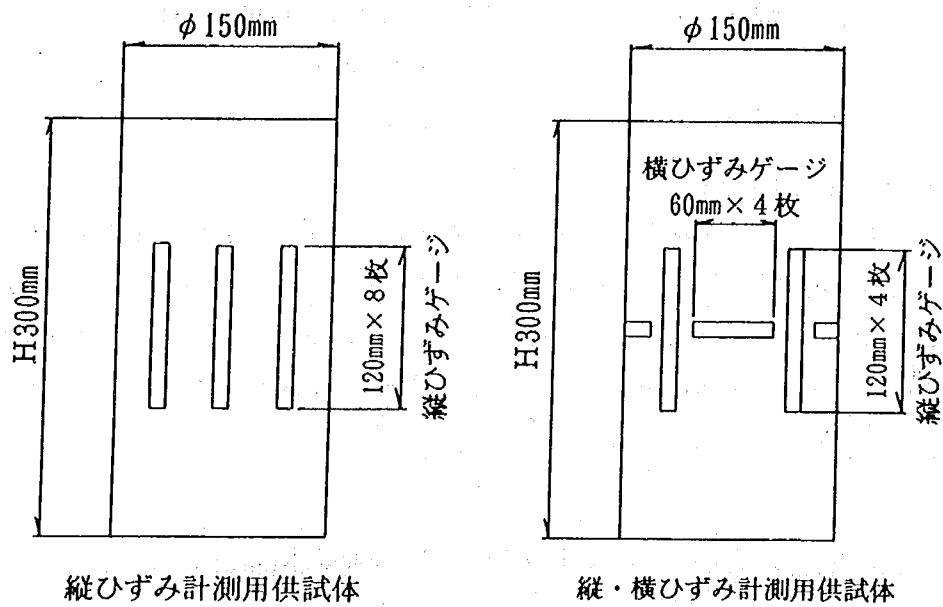


図-3.4 ひずみゲージの貼り方

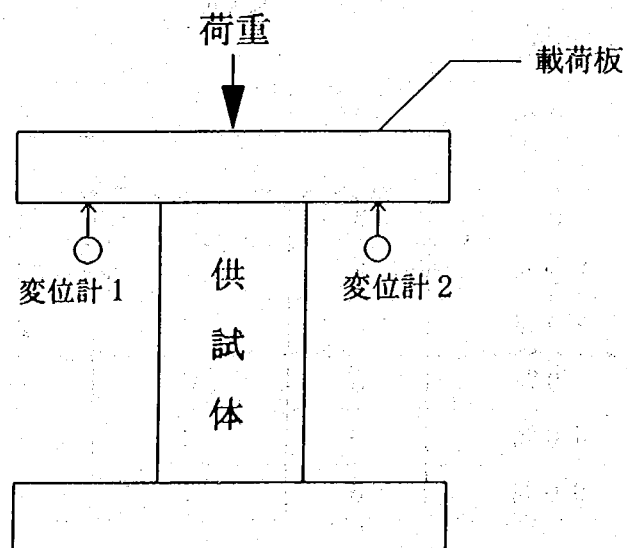


図-3.5 変位計の取り付け方

3.3 試験結果

3.3.1 低品質骨材を含有するコンクリートの強度特性

低品質骨材の混入率は次式で定義される。

$$\alpha = V_v / V_c \times 100 (\%), \quad (3.1)$$

ここに、

V_c ; 基本配合における粗骨材の容積

V_v ; 低品質骨材の容積

ここでは、低品質骨材の混入率をパラメータとして、混入率の増加に伴う圧縮強度の低減傾向を調べ、低品質骨材の混入率がコンクリートの強度に及ぼす影響について検討を行う。

表-3.5、表-3.6 に材令28日と材令91日の圧縮強度試験結果をそれぞれ示す。データ数の多い28日材令の結果を重視すると次のようなことが考察される。

① 基本配合のコンクリートに比べて低品質骨材を含有するコンクリートの方が圧縮強度のばらつきが大きい。変動係数は最も大きいもので10%程度である。また、混入率の増加に伴い、圧縮強度のばらつきが大きくなる傾向がある。

② 基本配合のコンクリートの変動係数は、それぞれのケースでは小さいが、ケース0-1からケース0-3を総合した変動係数は各ケースの変動係数よりも大きくなる場合(材令28日)がある。これは、バッチ内の変動係数よりもバッチ間の変動係数が大きいことを示している。

次に、混入率の増加に伴う圧縮強度の低減傾向について調べた。図-3.6は、材令28日の試験結果より、低品質骨材の混入率と圧縮強度の関係を示したものである。これによると、低品質骨材の混入率の増加に伴って圧縮強度の低減傾向が見られる。なお、図-3.7は、打設バッチあるいは打設日の違いによる、コンクリートの品質の変動を考慮して圧縮強度を同一日に作製した基本配合のコンクリートの圧縮強度の平均値で除して無次元化して表したものである。この無次元化した圧縮強度を圧縮強度比とよぶ。この図によると、圧縮強度比は、低品質骨材の混入率の小さいところで急激な低下を示し、低品質骨材の混入率が大きくなるにつれて圧縮強度比の低下がやや鈍化する傾向を示す。低品質骨材の混入率と圧縮強度比の関係を指数関数 ; $Y = 1.0 \cdot \exp(a \cdot X)$ で回帰すると、

$$\sigma_c / \sigma_{c0} = 1.0 \cdot \exp(-0.0237 \cdot \alpha) \quad (3.2)$$

なる曲線に比較的良く回帰する。

次に、材令91日の圧縮強度試験結果を含めて低品質骨材を含有するコンクリートの強度特性を見てみる。まず、図-3.8は材令91日の圧縮強度試験の結果を示したものであり、また、図-3.9は各ケース毎に材令28日圧縮強度に対する材令91日の圧縮強度の伸び率を示したものである。これによると、材令に伴う圧縮強度の伸びは、基本配合のコンクリートと低品質骨材を含有するコンクリートの間で大きな違いがないことがわかる。次に、図-3.10は、低品質骨材の混入率と圧縮強度比の関係について、材令28日と材令91日の比較を行ったものである。ここで、材令91日の低品質骨材の混入率と圧縮強度比の関係を指数関数で回帰した式は次のとおりである。

$$\sigma_c / \sigma_{c0} = 1.0 \cdot \exp(-0.0229 \cdot \alpha) \quad (3.3)$$

表-3.5 圧縮強度試験の結果 (材令28日)

ケース	供試体No.	低品質骨材 の混入率 α (%)	圧縮強度 σ_c (kgf/cm ²)	平均値 σ_c (kgf/cm ²)	標準偏差 (kgf/cm ²)	変動係数
case 0 - 1 *	1	0	266.1	264.2	2.199	0.00832
	2	0	263.0			
	3	0	260.4			
	4	0	265.4			
	5	0	266.0			
case 0 - 2 **	1	0	234.1	245.2	7.860	0.03206
	2	0	251.6			
	3	0	249.8			
case 0 - 3 ***	1	0	240.3	245.7 (253.9)	8.379 (11.203)	0.03411 (0.0441)
	2	0	257.5			
	3	0	239.2			
case 1 *	1	5	224.2	227.8	4.019	0.01764
	2	5	234.7			
	3	5	224.7			
	4	5	230.1			
	5	5	225.5			
case 2 *	1	10	204.6	201.8	14.255	0.07062
	2	10	215.7			
	3	10	217.3			
	4	10	180.2			
	5	10	191.4			
case 3 **	1	15	154.5	161.9	10.938	0.06757
	2	15	157.7			
	3	15	155.6			
	4	15	158.0			
	5	15	183.6			
case 4 **	1	20	135.6	148.2	11.947	0.08060
	2	20	140.3			
	3	20	166.8			
	4	20	157.7			
	5	20	140.7			
case 5 ***	1	40	104.8	103.5	4.148	0.04008
	2	40	107.2			
	3	40	95.4			
	4	40	104.7			
	5	40	105.4			
case 6 ***	1	60	53.0	58.1	5.870	0.10106
	2	60	69.3			
	3	60	58.0			
	4	60	54.0			
	5	60	56.1			

注1) *)***)はそれぞれ同一日に供試体を作製した。

注2) ()は case 0 - 1 から case 0 - 3 までのデータを用いた結果。

表-3.6 圧縮強度試験の結果（材令91日）

ケース	供試体No.	低品質骨材 の混入率 α (%)	圧縮強度 σ_c (kgf/cm ²)	平均値 σ_c (kgf/cm ²)	標準偏差 (kgf/cm ²)	変動係数
case 0 - 1 *	6	0	354.2	323.3	21.856	0.06760
	7	0	306.5			
	8	0	309.3			
case 0 - 2 **	4	0	315.0	316.6	1.550	0.00490
	5	0	318.1			
case 0 - 3 ***	4	0	320.4	305.7 (316.4)	14.700 (17.902)	0.04809 (0.05659)
	5	0	291.0			
case 1 *	6	5	294.0	268.4	18.945	0.07059
	7	5	262.3			
	8	5	248.8			
case 2 *	6	10	269.1	257.8	8.014	0.03109
	7	10	251.4			
	8	10	252.9			
case 3 **	6	15	213.9	224.5	7.727	0.03442
	7	15	227.5			
	8	15	232.1			
case 4 **	6	20	209.4	207.3	7.662	0.03697
	7	20	197.0			
	8	20	215.4			
case 5 ***	6	40	120.5	121.6	5.045	0.04147
	7	40	116.1			
	8	40	128.3			
case 6 ***	6	60	82.7	77.3	3.919	0.05073
	7	60	73.6			
	8	60	75.5			

注1) *)***)はそれぞれ同一日に供試体を作製した。

注2) ()は case 0 - 1 から case 0 - 3 までのデータを用いた結果。

図-3.10 によると、低品質骨材の混入率の増加に伴う圧縮強度の低減傾向は、材令が異なった場合でもほぼ同じ傾向を示していることがわかる。

次に、供試体密度をパラメータとしたときの圧縮強度の低減傾向について調べた。供試体密度は、圧縮強度試験の6日前に養生水槽から取り出した直後に表面の水分を拭いて測定した供試体の重量より算定したものである。図-3.11 に示すように供試体密度は低品質骨材の混入率と高い相関関係にある。また、図-3.12 は供試体密度と圧縮強度の関係を示したものである。なお、図の横軸は、低品質骨材の混入率と圧縮強度の関係と比較できるように左右を逆転している。また、図-3.13は、各ケースの圧縮強度比の平均値と各ケースの供試体密度の平均値から、供試体密度と圧縮強度の関係を示したものである。両者の関係は、低品質骨材の混入率と圧縮強度比の関係と同様に、高い相関性を有している。

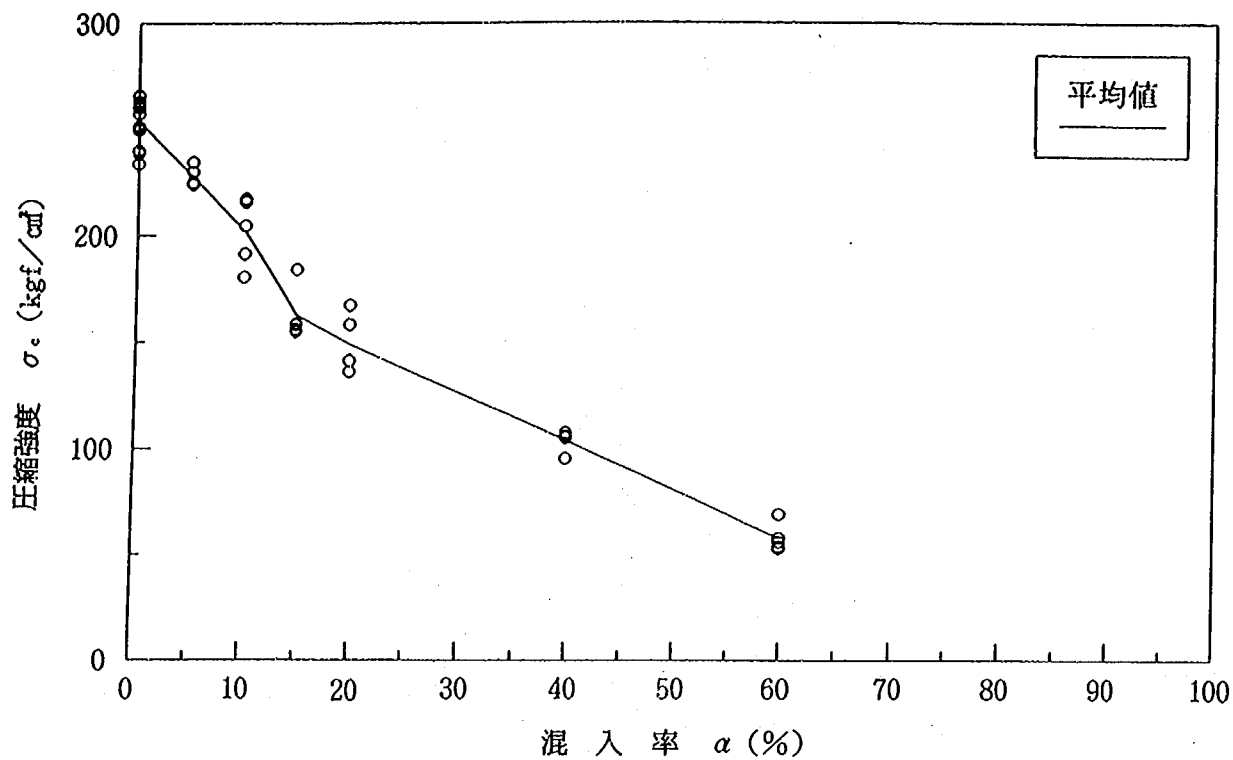


図-3.6 混入率と圧縮強度の関係 (材令28日)

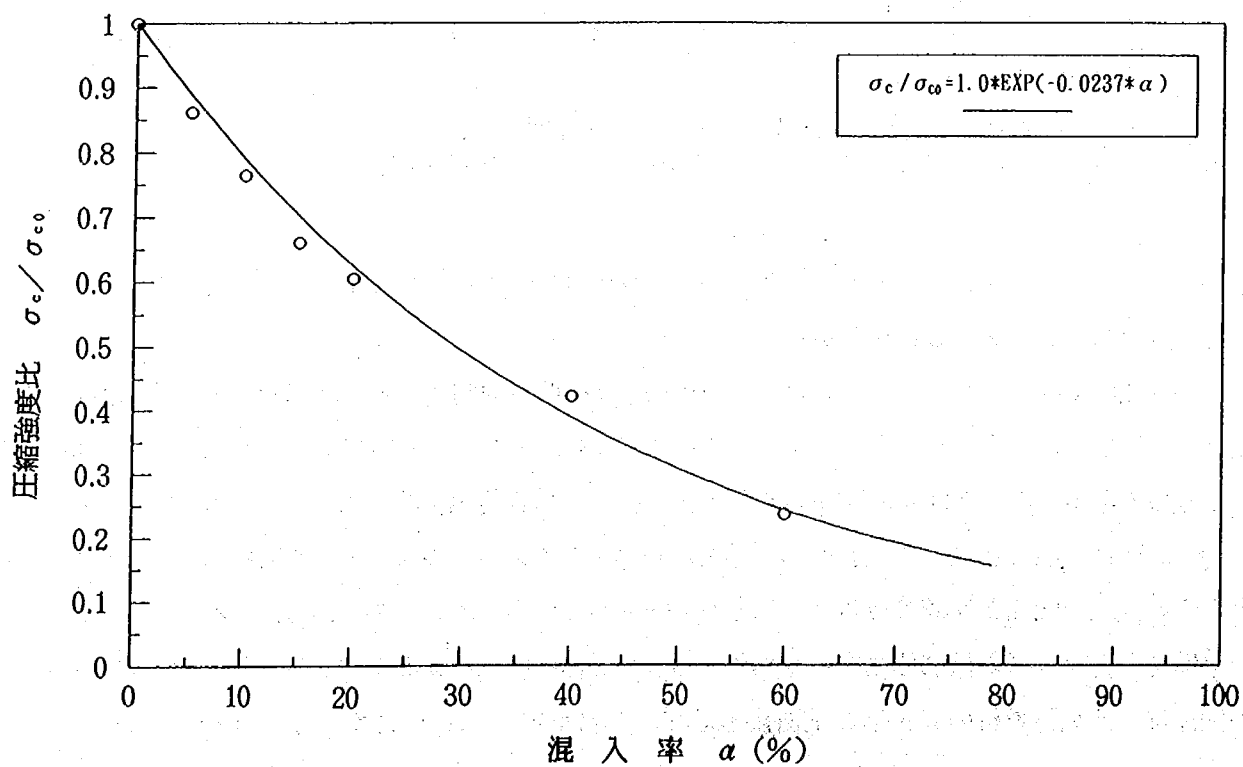


図-3.7 低品質骨材の混入率と圧縮強度比の関係 (材令28日)

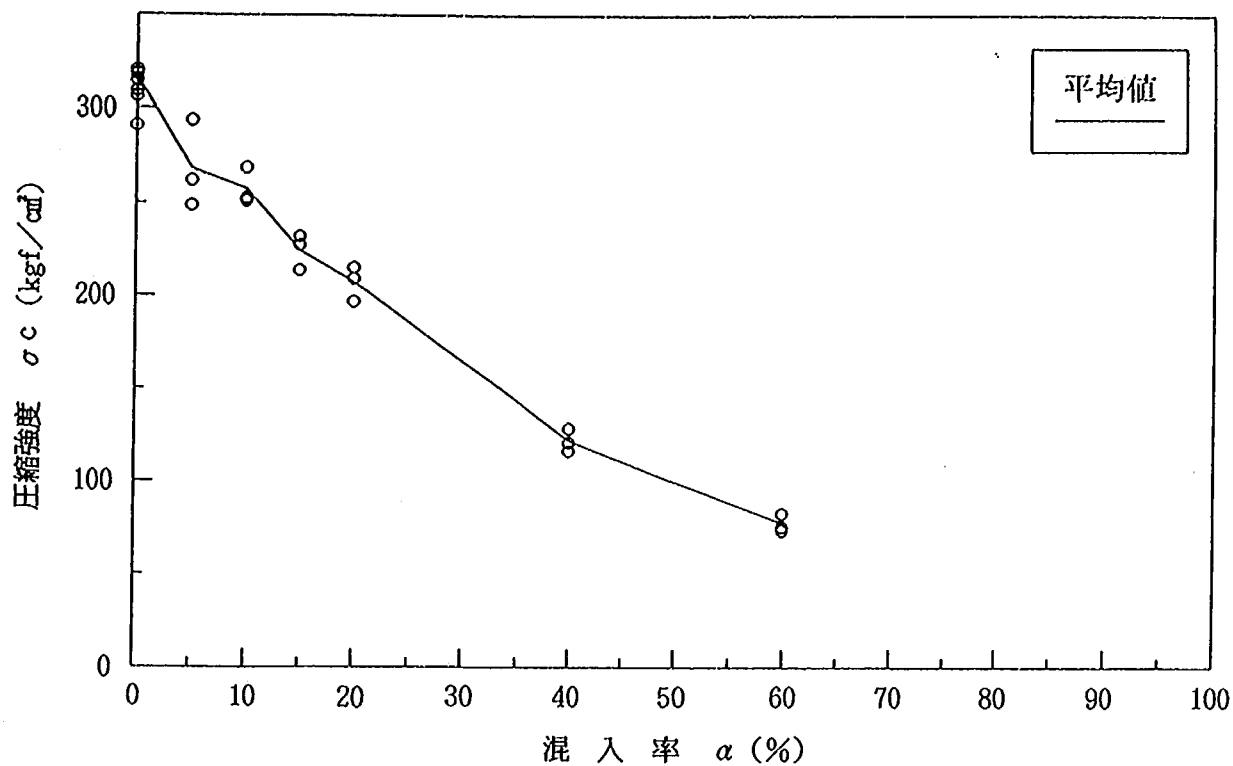


図-3.8 低品質骨材の混入率と圧縮強度の関係（材令91日）

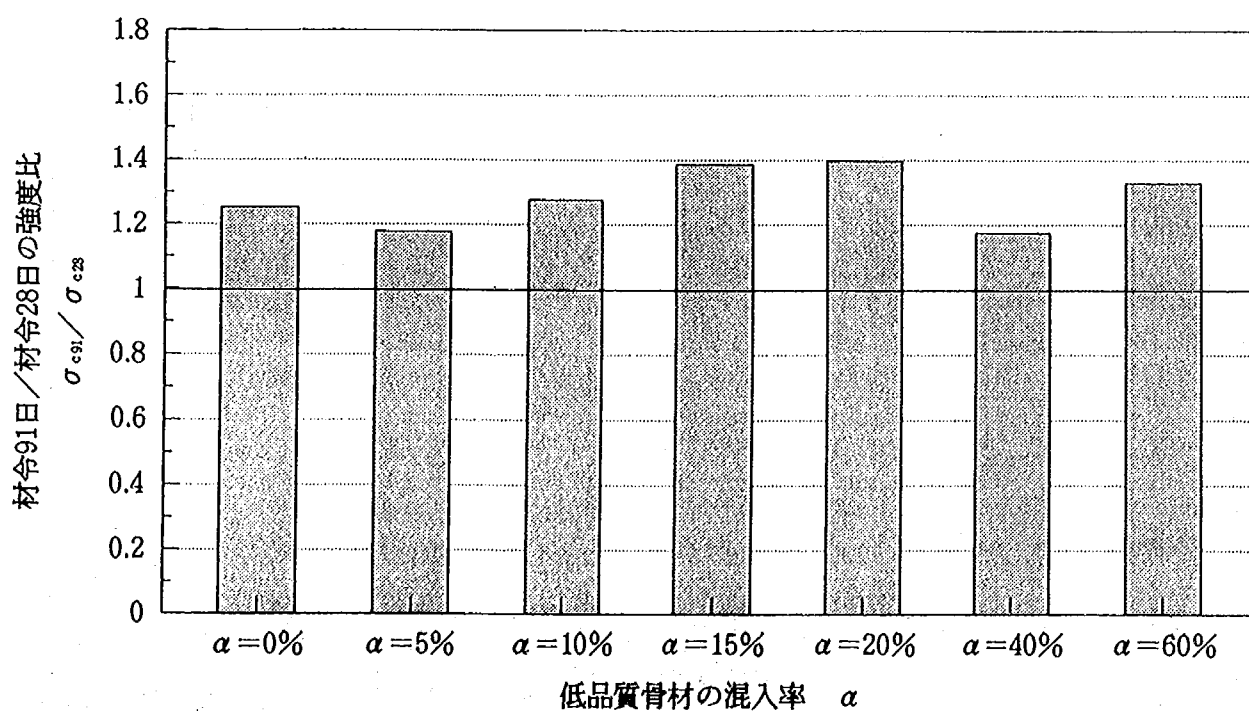


図-3.9 材令コンクリートの強度に及ぼす影響

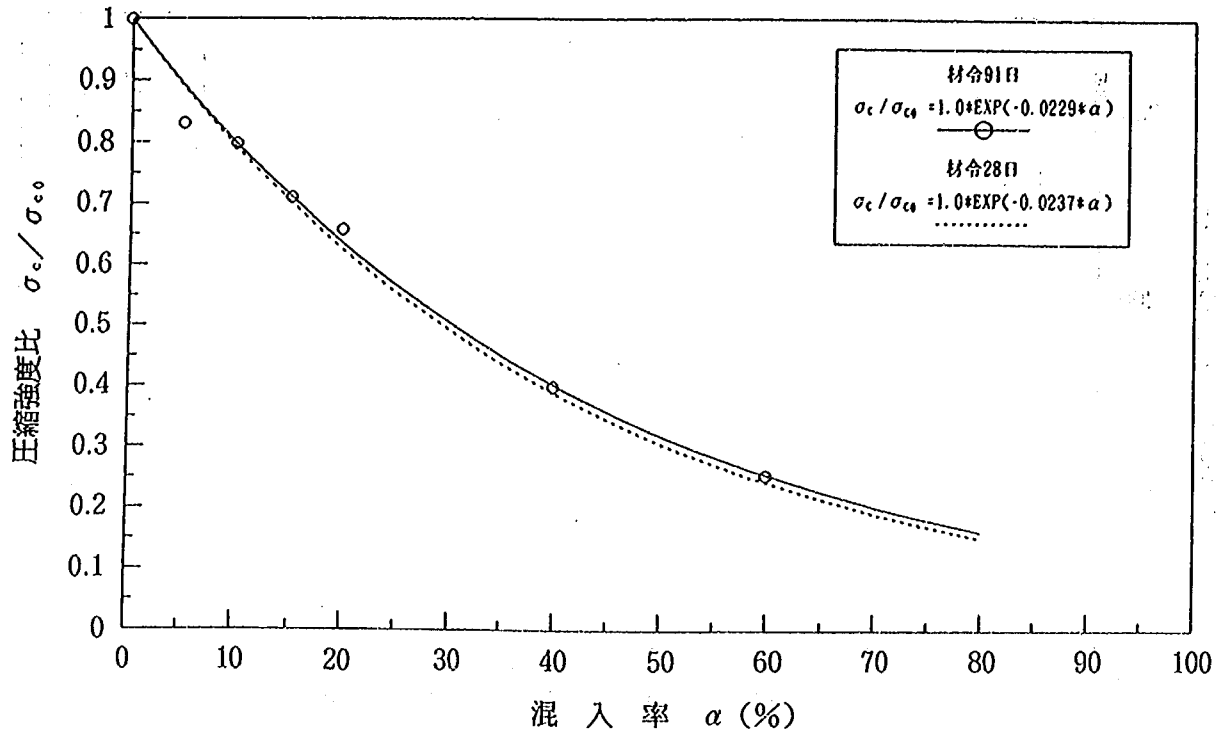


図-3.10 低品質骨材の混入率と圧縮強度比の関係
(材令28日・材令91日の比較)

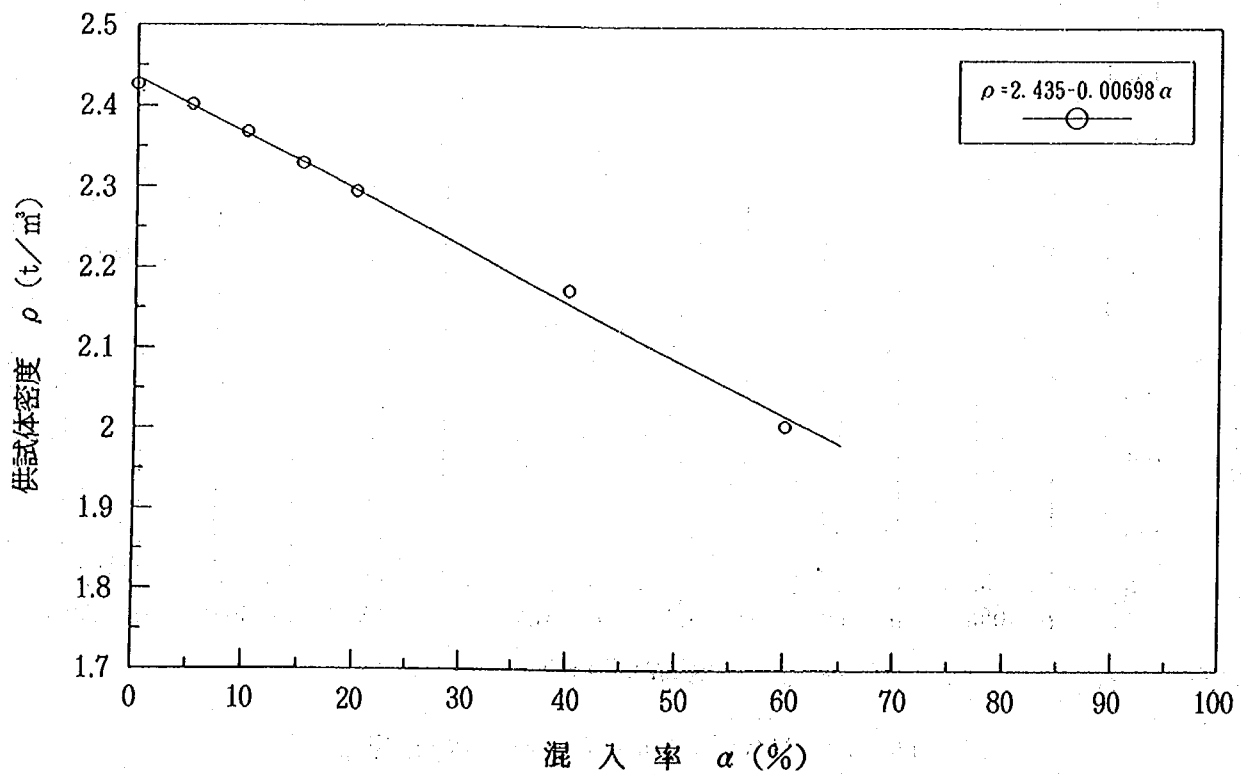


図-3.11 低品質骨材の混入率と供試体密度の関係 (材令28日)

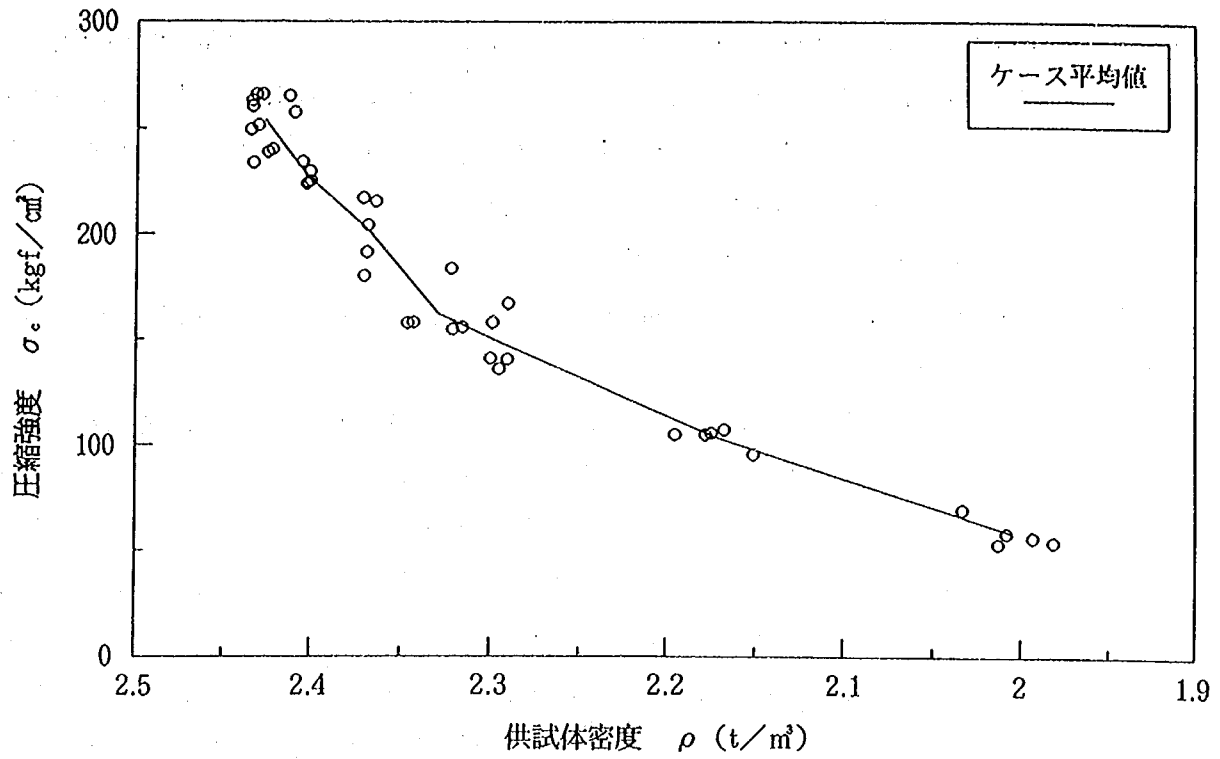


図-3.12 供試体密度と圧縮強度の関係 (材令28日)

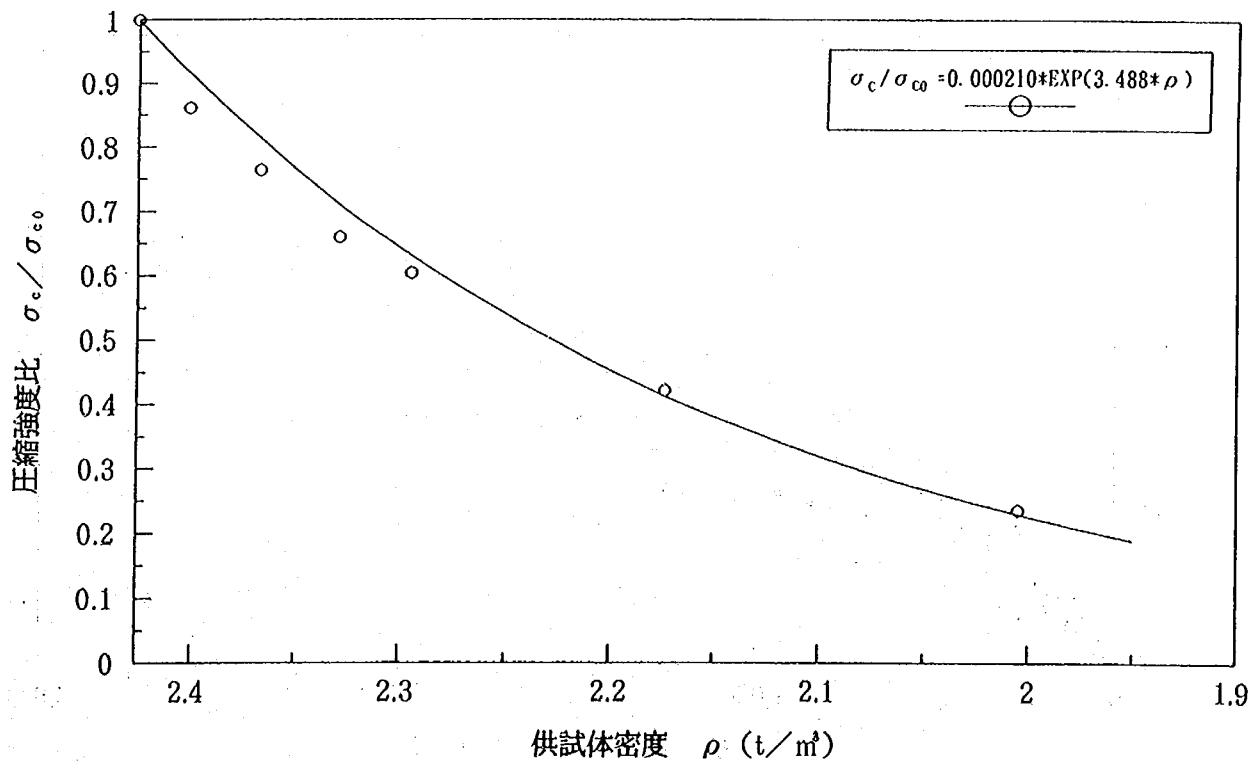


図-3.13 供試体密度と圧縮強度比の関係 (材令28日)

3.3.2 低品質骨材を含有するコンクリートの変形特性

コンクリートの圧縮強度試験を実施した際、ひずみゲージによる応力-ひずみ関係、および変位計による応力-変位関係について計測を行った。ここでは、ひずみゲージにより計測した応力-ひずみ関係に基づいて低品質骨材を含有するコンクリートの変形特性について検討を行うとともに、圧縮強度と弾性係数の関係や破壊ひずみの特性などの力学的特性について検討を行う。

[1] 低品質骨材コンクリートの応力-ひずみ関係

図-3.14 は、応力上昇過程での応力-ひずみ曲線（以下 $\sigma-\epsilon$ 曲線）の代表的な例を各ケースの材令28日のコンクリートについて示したものである。基本配合のコンクリート（ $\alpha=0\%$ ）のケースで見られる $\sigma-\epsilon$ 曲線は、非線形性を呈した典型的なコンクリートの $\sigma-\epsilon$ 曲線といえる。低品質骨材を含有するコンクリートの場合もこれと概ね相似な曲線となっているが、混入率60%のケースではやや直線に近い $\sigma-\epsilon$ 曲線となっている。応力-ひずみ関係をさらに詳しく調べるため図-3.15は、図-3.14 で用いた応力とひずみの値を破壊応力（圧縮強度）と破壊ひずみでそれぞれ除して、相対的な応力-ひずみ関係を表したものである。これによると、基本配合のコンクリートと低品質骨材を含有するコンクリートの間で $\sigma-\epsilon$ 曲線の形状に違いが現れている。すなわち、低品質骨材の混入率が15%までは基本配合のコンクリートの曲線と大差ないが、低品質骨材の混入率が60%のケースでは相対応力0.8付近までほぼ直線に近い曲線となっており、低品質骨材の混入率の増加に伴ってこのような曲線の形状に遷移する傾向が認められる。このように、応力-ひずみ関係の比較によると、低品質骨材を含有するコンクリートの変形特性は、低品質骨材の混入率の増加に伴い通常のコンクリートの変形特性とは異なってくることがわかる。

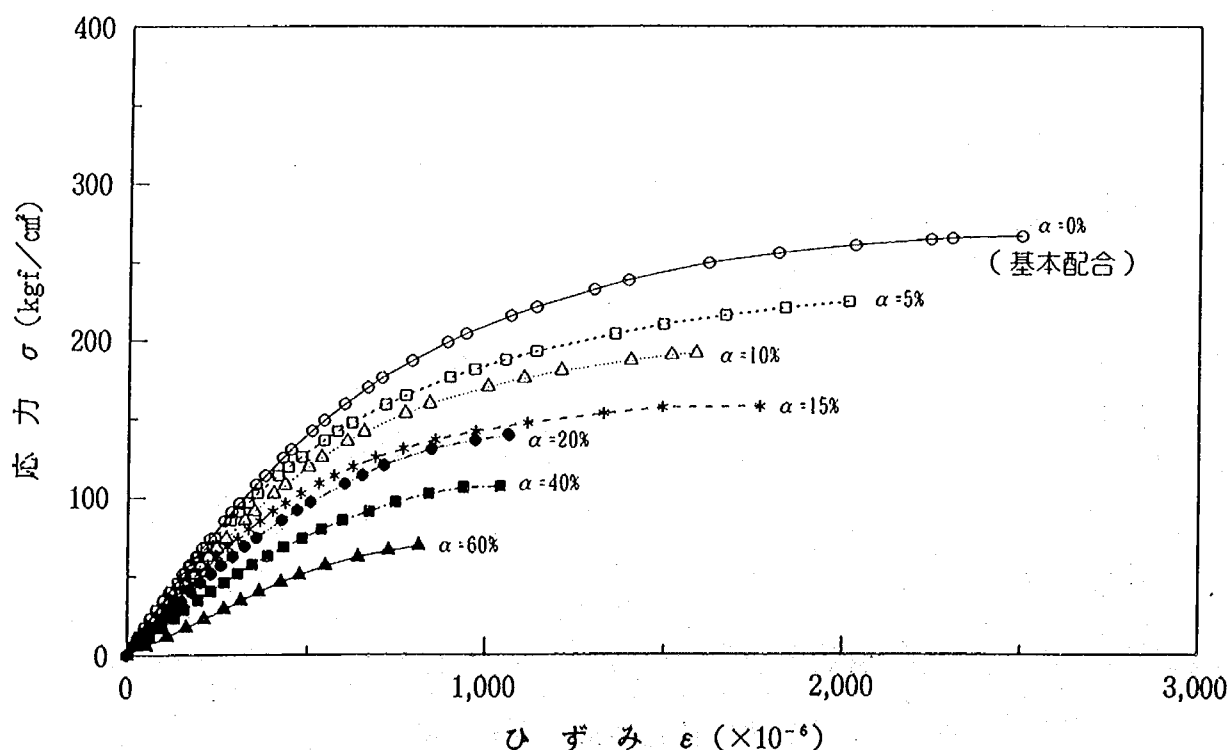


図-3.14 低品質骨材の混入率が応力-ひずみ曲線に及ぼす影響（材令28日）

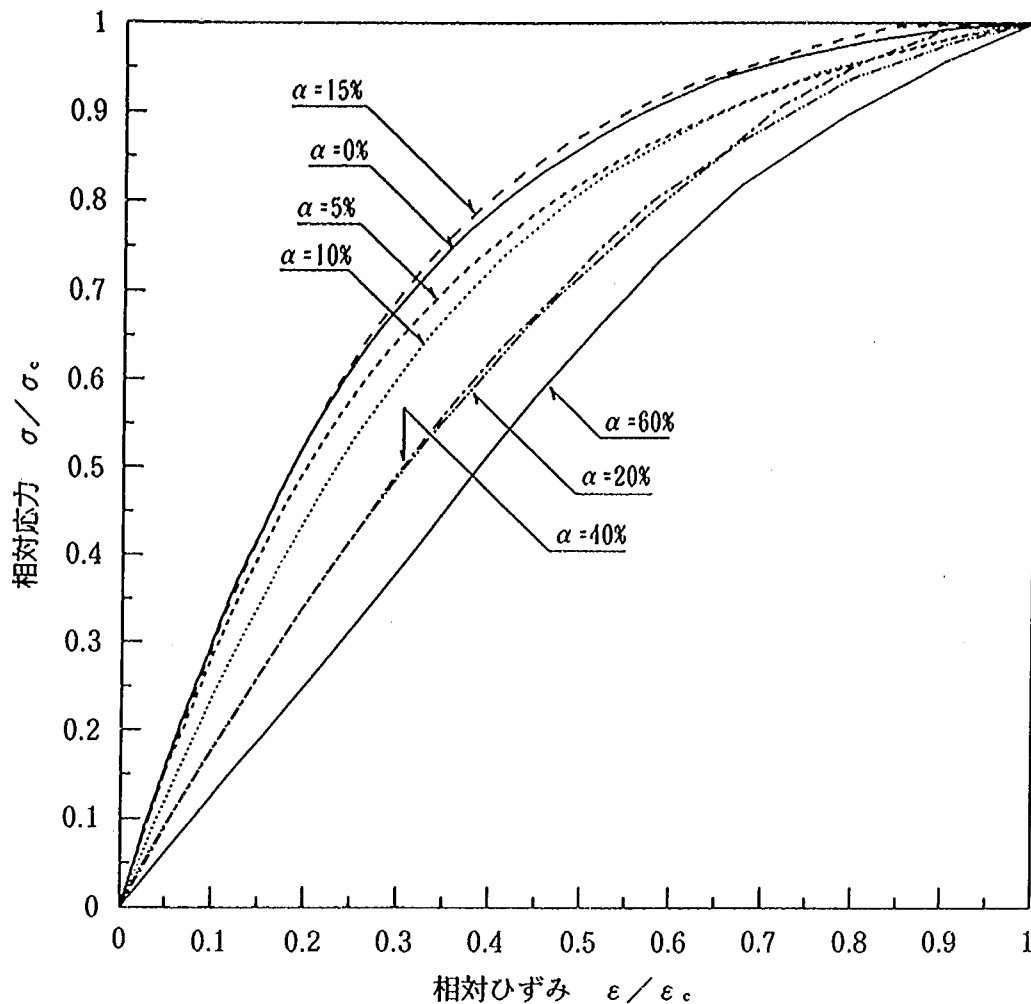


図-3.15 低品質骨材の混入率が相対応力-相対ひずみ曲線に及ぼす影響 (材令28日)

[2] 低品質骨材混入率と弾性係数の関係

コンクリートのように応力-ひずみ関係が非線形である場合、完全弾性体のように弾性係数を一意的に定義することはできない。コンクリートの弾性係数を表現する場合、つぎの値が良く用いられる。(図-3.16 参照)。

i) 初期弾性係数 (initial tangent modulus)

$$E_t = \tan \alpha \quad (3.4)$$

ここに、 E_t ; 初期弾性係数

α ; $\sigma - \epsilon$ 曲線の原点における接線が ϵ 軸となす角度

ii) 割線弾性係数 (secant modulus)

$$E_s = \sigma_s / \epsilon_s \quad (3.5)$$

ここに、 E_s ; 割線弾性係数

σ_s, ϵ_s ; $\sigma - \epsilon$ 曲線の任意の点における応力とひずみ

初期弾性係数はある $\sigma - \epsilon$ 曲線に対して唯一の値を示すが、割線弾性係数はその値を求める点をどこに選ぶかによって違う値を示す。図-3.15 で示したように低品質骨材の混入率の程度によって $\sigma - \epsilon$ 曲線

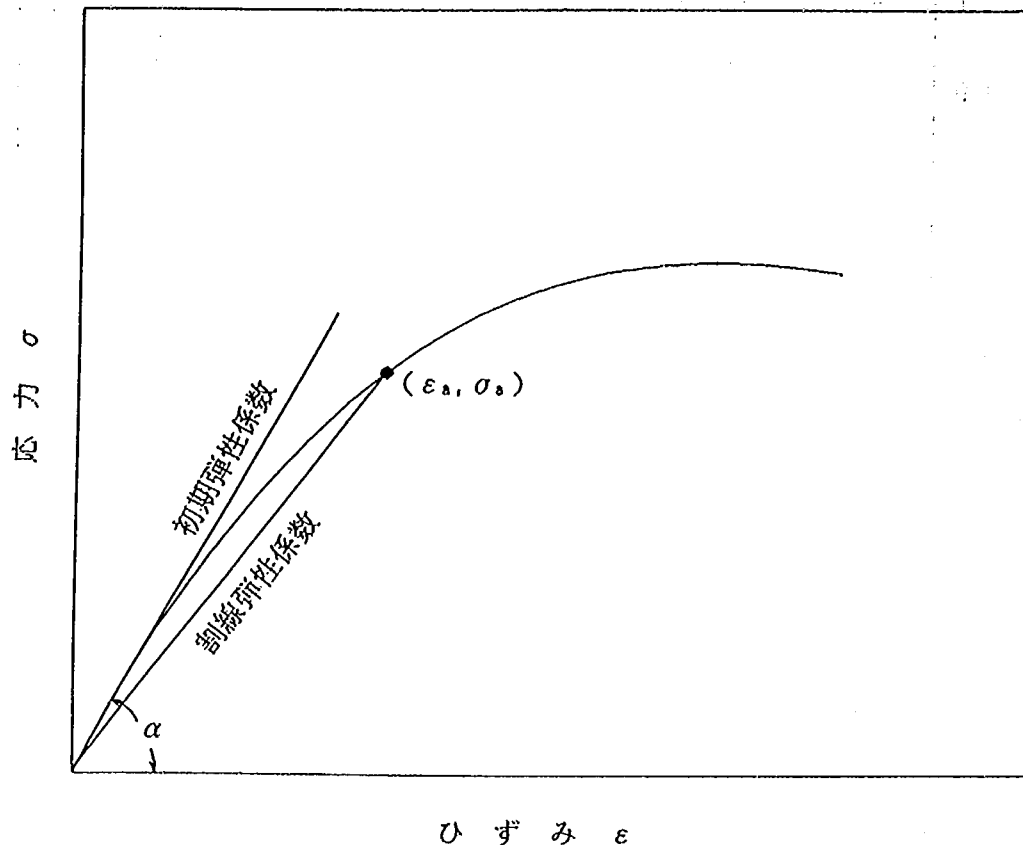


図-3.16 コンクリートの弾性係数の表し方

の特性が多少異なることから、ここではこのようなもの同士を比較することを前提として弾性係数の合理的な算定基準を決める必要がある。図-3.17は、応力レベルを種々に変化させて割線弾性係数を求めた結果を示したものである。この図から次のようなことが考察される。

- ① 初期弾性係数は、載荷初期における割線弾性係数と考えて良いが、載荷初期では割線弾性係数は不安定な挙動を示す。従って初期弾性係数を用いるのは妥当とは言い難い。不安定な挙動の原因としては、供試体と載荷板の密着性、低ひずみレベルでのひずみの測定精度などが考えられる。
- ② 割線弾性係数を用いる場合、その点をどこに選ぶかが問題となるが、通常は応力とひずみが比例関係に近い載荷初期の点を選ぶことが多い。また、今回の試験では、破壊応力に近づくにつれ割線弾性係数は低品質骨材の混入率に依らずほぼ一定の値に収束してくることから、載荷初期に近いほど各コンクリート固有の特性が現れるものと考えられる。

以上のことを考慮すると、弾性係数は圧縮強度の $1/4$ の応力度付近での割線弾性係数とすることが妥当と考えられる。図-3.18、図-3.19 は圧縮強度の $1/4$ の応力度におけるひずみを圧縮強度との関係において示したものである。これによると圧縮強度の $1/4$ の応力度におけるひずみは、圧縮強度の大きさにかかわらず、ほぼ一定の値を示すことがわかる。そこで、図-3.20 は圧縮強度の $1/4$ の応力レベル、 100μ のひずみレベル、 200μ のひずみレベルの3通りの基準で算定した弾性係数を、低品質骨材の混入率との関係において表したものである。これによると、算定基準の違いによって弾性係数の値はあまり

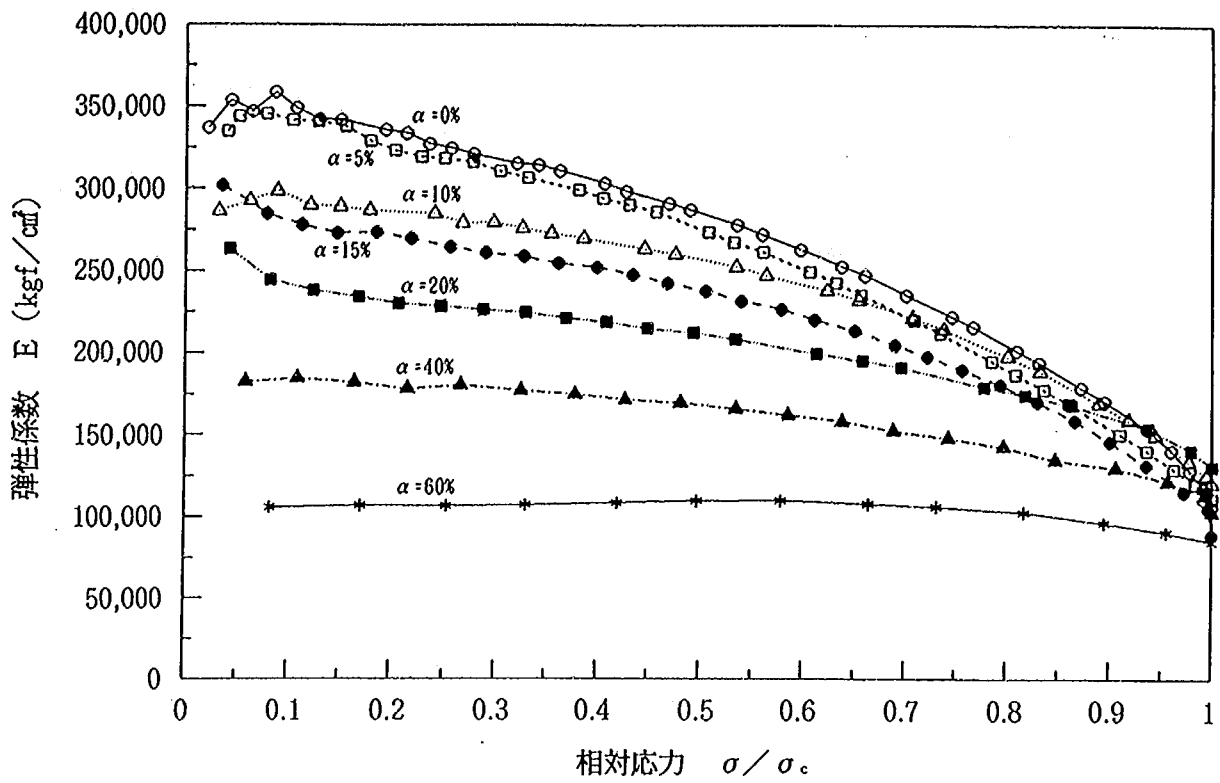


図-3.17 応力レベル毎の割線弾性係数 (材令28日)

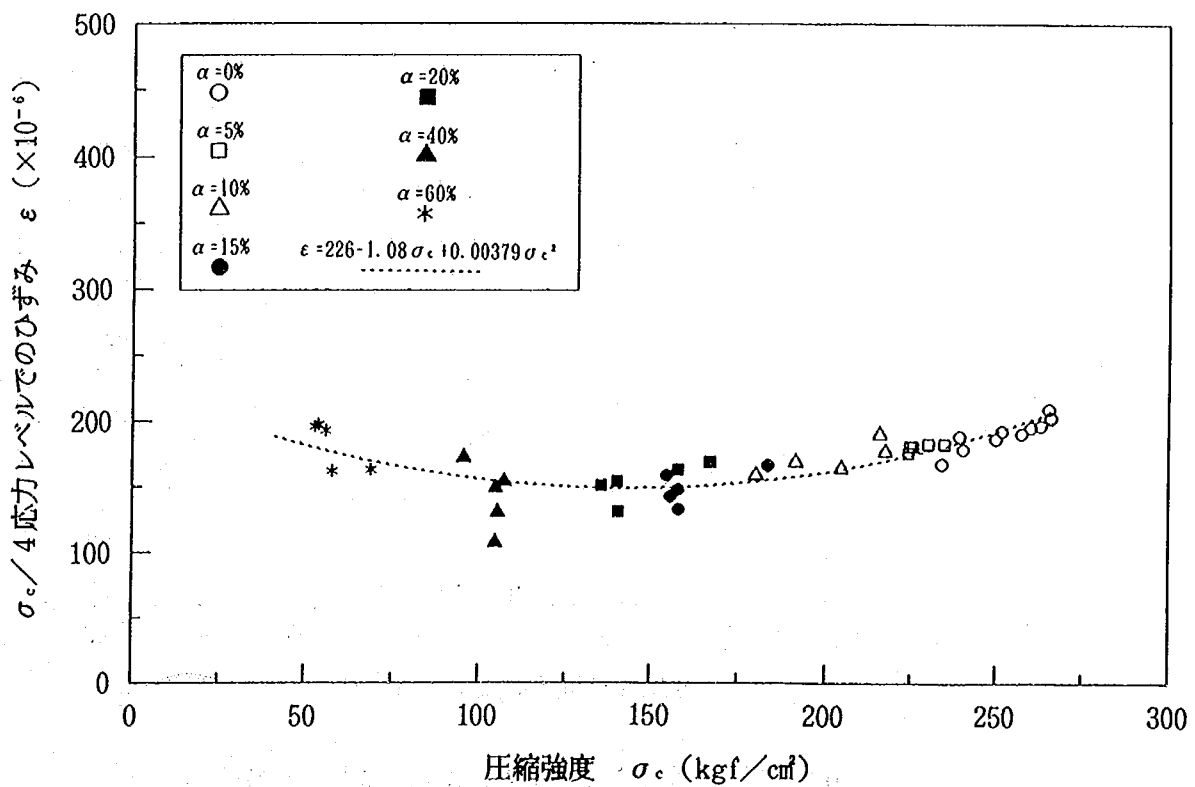


図-3.18 $\sigma_c/4$ の応力レベルにおけるひずみレベル (材令28日)

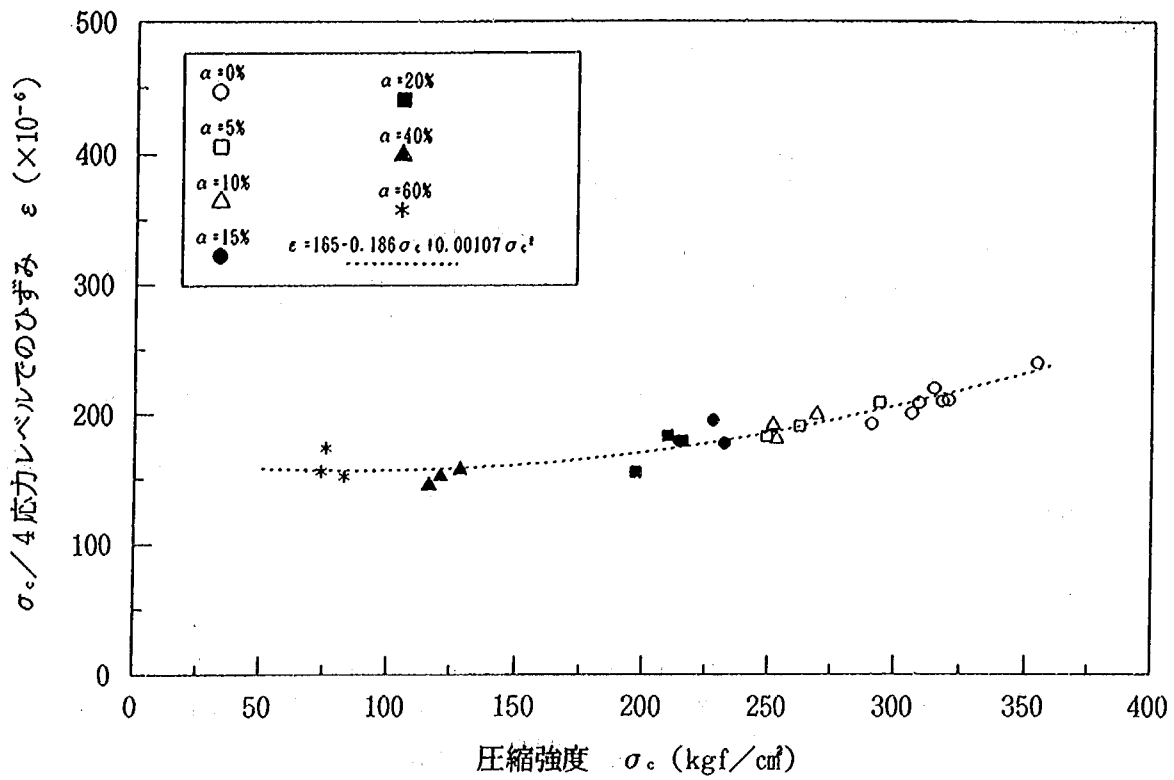


図-3.19 $\sigma_c/4$ の応力レベルにおけるひずみレベル (材令91日)

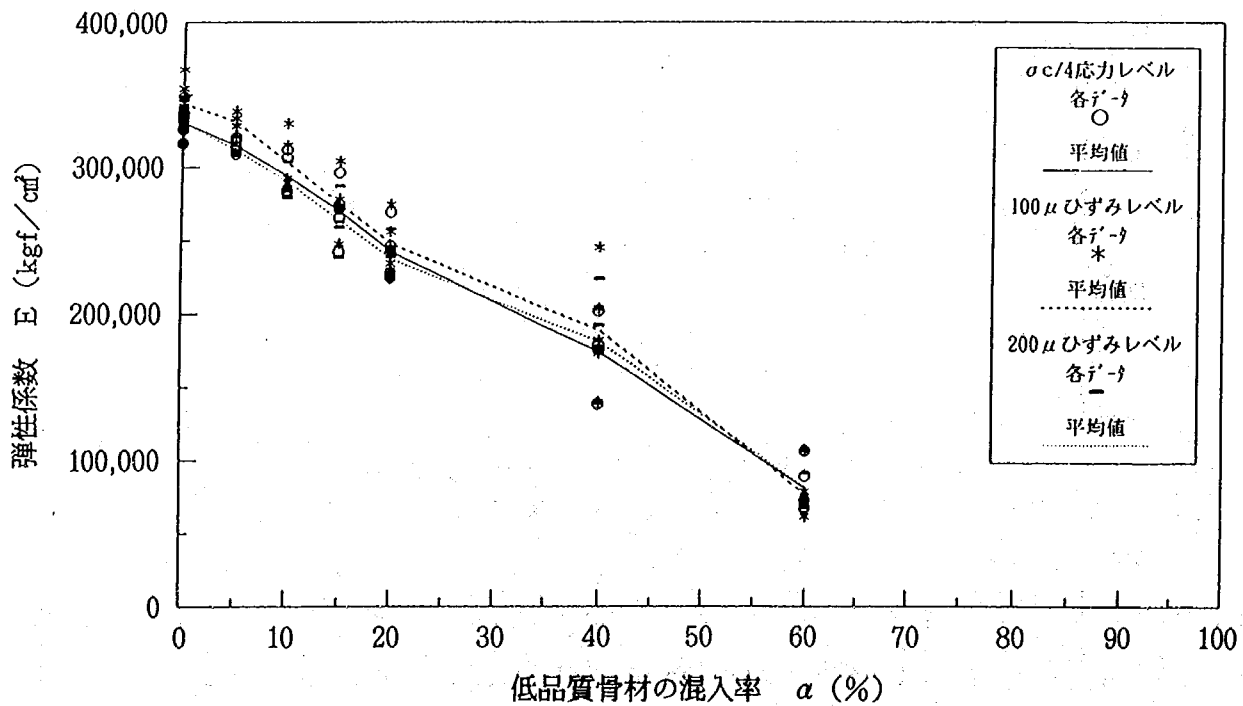


図-3.20 各種条件に対して求めた割線弾性係数の比較

変わらないことがわかる。これらの検討より、弾性係数の算定基準は圧縮強度の $1/4$ の応力での割線弾性係数と定義することとした。ここでは以上のように定義した弾性係数を用いて、低品質骨材の混入がコンクリートの变形特性に及ぼす影響について調べる。

表-3.7 と表-3.8 に材令28日と材令91日の弾性係数の算定結果をそれぞれ示す。また、図-3.21 は、材令28日の試験結果により、低品質骨材の混入率と弾性係数の関係を示したものである。これによると、低品質骨材の混入率の増加に伴い弾性係数の明らかな低減傾向が見られる。図-3.22 は同じく材令28日の試験結果により、低品質骨材の混入率と弾性係数比の関係を示したものである。ここで、弾性係数比とは、各ケースの弾性係数を同一日に作製した基本配合のコンクリートの弾性係数の平均値で除して無次元化したものである。この図によると、弾性係数の低減傾向は低品質骨材の混入率と線形に近い関係が認められる。低品質骨材の混入率と弾性係数比の関係を直線回帰式；

$Y=1.0+aX$ を用いて近似すると、

$$E/E_0 = 1.0 - 0.0125\alpha \quad (3.6)$$

なる回帰線が得られる。

次に、材令91日の試験結果を含めて低品質骨材コンクリートの变形特性を見てみる。まず、図-3.23 は材令91日の弾性係数の測定結果を示したものである。また、図-3.24 は各ケース毎に材令28日の弾性係数に対する材令91日の弾性係数の伸び率を示したものである。ここで、材令91日の低品質骨材の混入率と弾性係数比の関係を直線回帰式で回帰した式は次のとおりである。

$$E/E_0 = 1.0 - 0.0113\alpha \quad (3.7)$$

図-3.24 によると、材令に伴う弾性係数の伸びは、基本配合のコンクリートと低品質骨材を含有するコンクリートの間で大きな違いはないと判断されるが、混入率が60%のケースのみ特異な伸びを示している。これは基本的には、混入率60%のコンクリートの材令28日の弾性係数が小さいことに起因するものと考えられるが、ここでは低品質骨材を含有するコンクリートの材令に伴う弾性係数の変化特性について詳しく検討を行ってみる。図-3.25 は、低品質骨材の混入率と弾性係数比の関係について、材令28日と材令91日の比較を行ったものである。これによると、低品質骨材の混入率の増加に伴う弾性係数の低減傾向は定性的には材令が異なる場合でも同じであるが、低品質骨材の混入率と弾性係数比の回帰線の勾配は材令によって若干異なっており、低品質骨材の混入率を固定した場合、材令91日の弾性係数比が材令28日の弾性係数比よりも大きい結果となっている。

そこで、材令に伴う弾性係数の伸び率を (3.6)式、(3.7)式を用いて表すと次のようになる。

$$\frac{E_{91}}{E_{28}} = \frac{1 - 0.0113\alpha}{1 - 0.0125\alpha} \cdot \frac{E_{91}}{E_{28}} \quad (3.8)$$

ここで、 E_{91} ; 低品質骨材の混入率が α の時の材令91日における弾性係数

E_{28} ;	"	α	"	28日	"
E_{91} ;	"	0	"	91日	"
E_{028} ;	"	0	"	28日	"

表-3.7 弾性係数の算定結果 (材令28日)

ケース	供試体No.	低品質骨材 の混入率 α (%)	弾性係数 E (kgf/cm ²)	平均値 E (kgf/cm ²)	標準偏差 (kgf/cm ²)	変動係数
case 0 - 1 *	1	0	325700	327220	6073	0.01856
	2	0	334200			
	3	0	332200			
	4	0	316800			
	5	0	327200			
case 0 - 2 **	1	0	348400	336467	8963	0.02664
	2	0	326800			
	3	0	334200			
case 0 - 3 ***	1	0	336500	330300 (330582)	9775 (8907)	0.02959 (0.02694)
	2	0	337900			
	3	0	316500			
case 1 *	1	5	318700	315160	4121	0.01308
	2	5	320900			
	3	5	309600			
	4	5	314200			
	5	5	312400			
case 2 *	1	10	312500	294180	12765	0.04339
	2	10	284400			
	3	10	306800			
	4	10	284000			
	5	10	283200			
case 3 **	1	15	242400	270160	17413	0.06446
	2	15	265700			
	3	15	271400			
	4	15	296700			
	5	15	274600			
case 4 **	1	20	224400	242120	15965	0.06594
	2	20	228000			
	3	20	246200			
	4	20	242600			
	5	20	269400			
case 5 ***	1	40	175500	173975	22630	0.13008
	2	40	179500			
	3	40	138900			
	4	40	欠測			
	5	40	202000			
case 6 ***	1	60	67300	80720	15151	0.18770
	2	60	106600			
	3	60	89100			
	4	60	68000			
	5	60	72600			

注1) *)**)***)はそれぞれ同一日に供試体を作製した。

注2) ()は case 0 - 1 から case 0 - 3 までのデータを用いた結果。

表-3.8 弾性係数の算定結果 (材令91日)

ケース	供試体No.	低品質骨材 の混入率 α (%)	弾性係数 E (kgf/cm ²)	平均値 E (kgf/cm ²)	標準偏差 (kgf/cm ²)	変動係数
case 0-1 *	6	0	370400	375367	5798	0.01545
	7	0	383500			
	8	0	372200			
case 0-2 **	4	0	359900	369850	9950	0.02690
	5	0	379800			
case 0-3 ***	4	0	380600	379800 (375057)	800 (7556)	0.00211 (0.02015)
	5	0	379000			
case 1 *	6	5	353000	347067	4328	0.01247
	7	5	345400			
	8	5	342800			
case 2 *	6	10	337500	339233	9065	0.02672
	7	10	329100			
	8	10	351100			
case 3 **	6	15	297800	306000	16256	0.05312
	7	15	291500			
	8	15	328700			
case 4 **	6	20	285700	301567	13548	0.04492
	7	20	318800			
	8	20	300200			
case 5 ***	6	40	198800	200900	2426	0.01208
	7	40	199600			
	8	40	204300			
case 6 ***	6	60	136400	120967	11609	0.09597
	7	60	118100			
	8	60	108400			

注1) *)***)***はそれぞれ同一日に供試体を作製した。

注2) ()は case 0-1 から case 0-3 までのデータを用いた結果。

式 (3.8)によれば、低品質骨材の混入率 α と弾性係数 E の伸び率の関係は双曲線によって表され、低品質骨材の混入率が40~50%を越えると弾性係数 E の伸び率は急激に上昇することが分かる。すなわち、図-3.25 の試験結果はこのような特性を表しているといえる。

次に実験に使用した構成材料の物性から弾性係数を計算より求める方法について検討してみる。計算に用いた手法は、Hashin-Hansen式と呼ばれるもので次式 (参考文献：複合体モデルによるヤング係数式をまとめたものとして、コンクリート工学ハンドブック、P. 467、1984、2) で表される。

$$E = \frac{(1 - V_a)E_m + (1 + V_a)E_a}{(1 + V_a)E_m + (1 - V_a)E_a} \cdot E_m \quad (3.9)$$

ここに、E ; コンクリートの弾性係数

E_m ; マトリックスの弾性係数

E_a ; 骨材の弾性係数

V_a ; 骨材の構成比

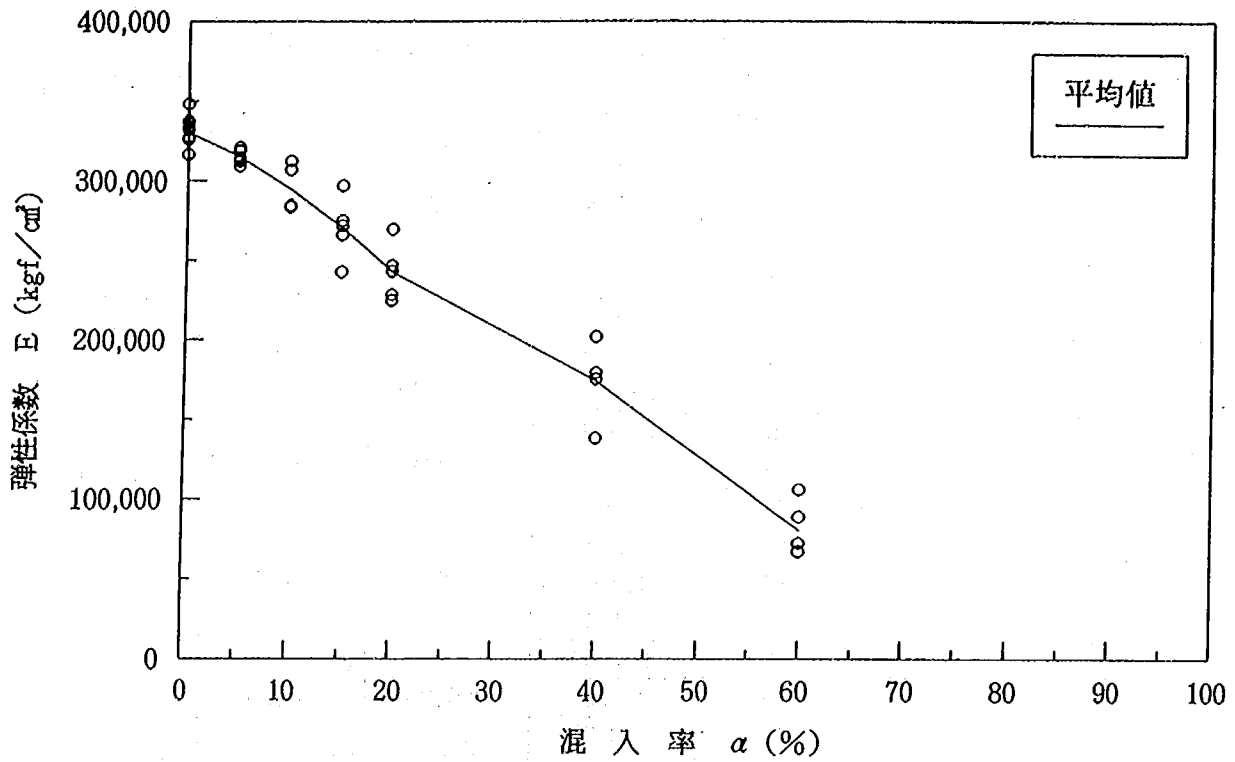


図-3.21 低品質骨材の混入率と弾性係数の関係 (材令28日)

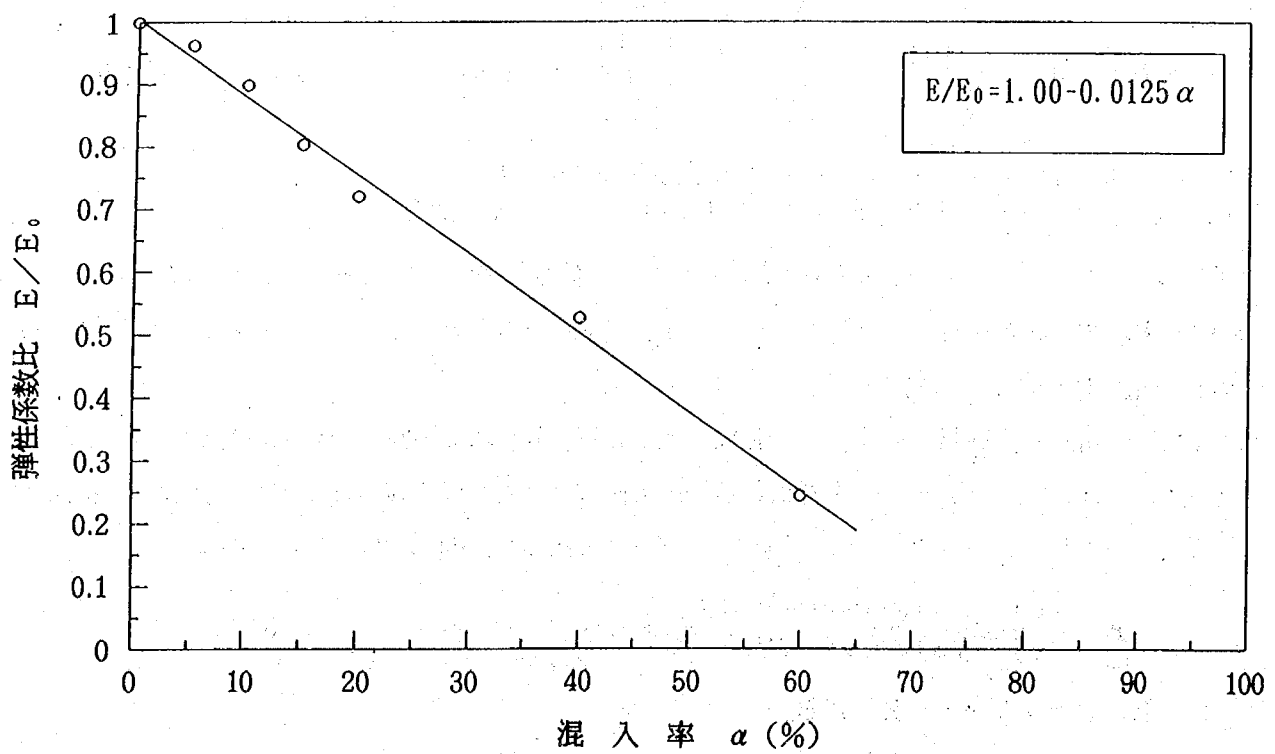


図-3.22 低品質骨材の混入率と弾性係数比の関係 (材令28日)

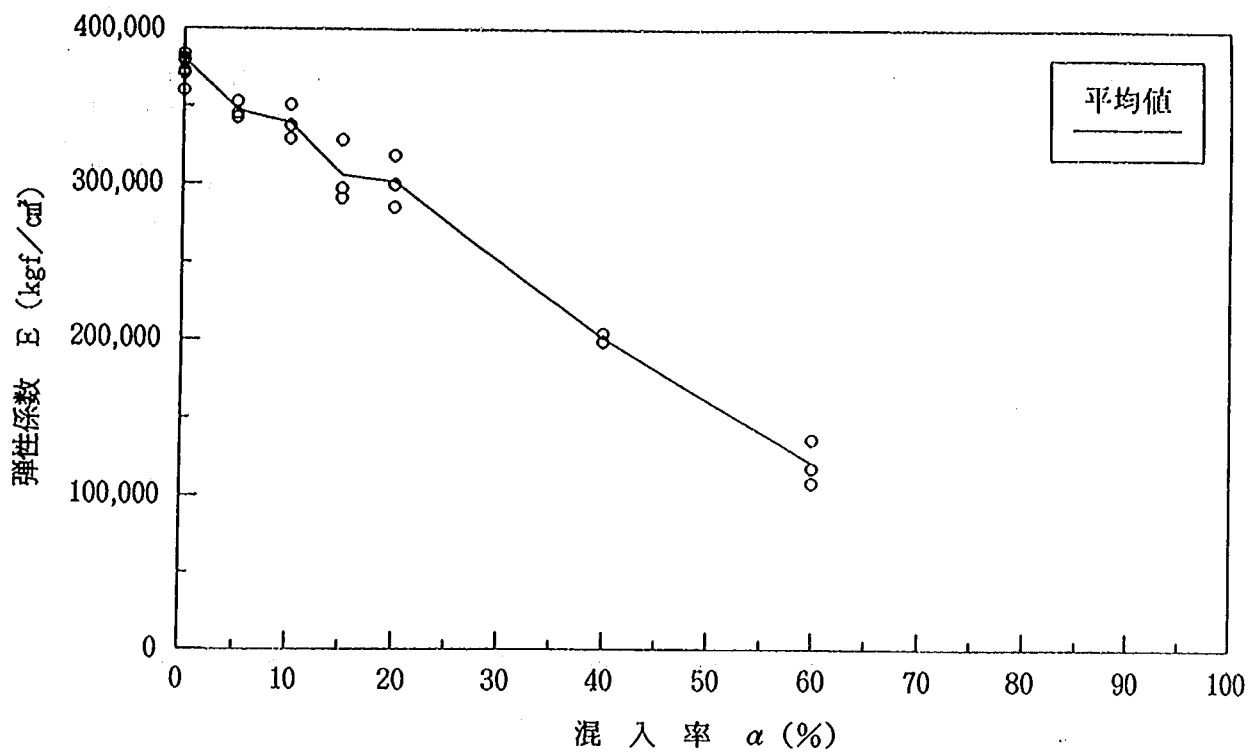


図-3.23 低品質骨材の混入率と弾性係数の関係（材令91日）

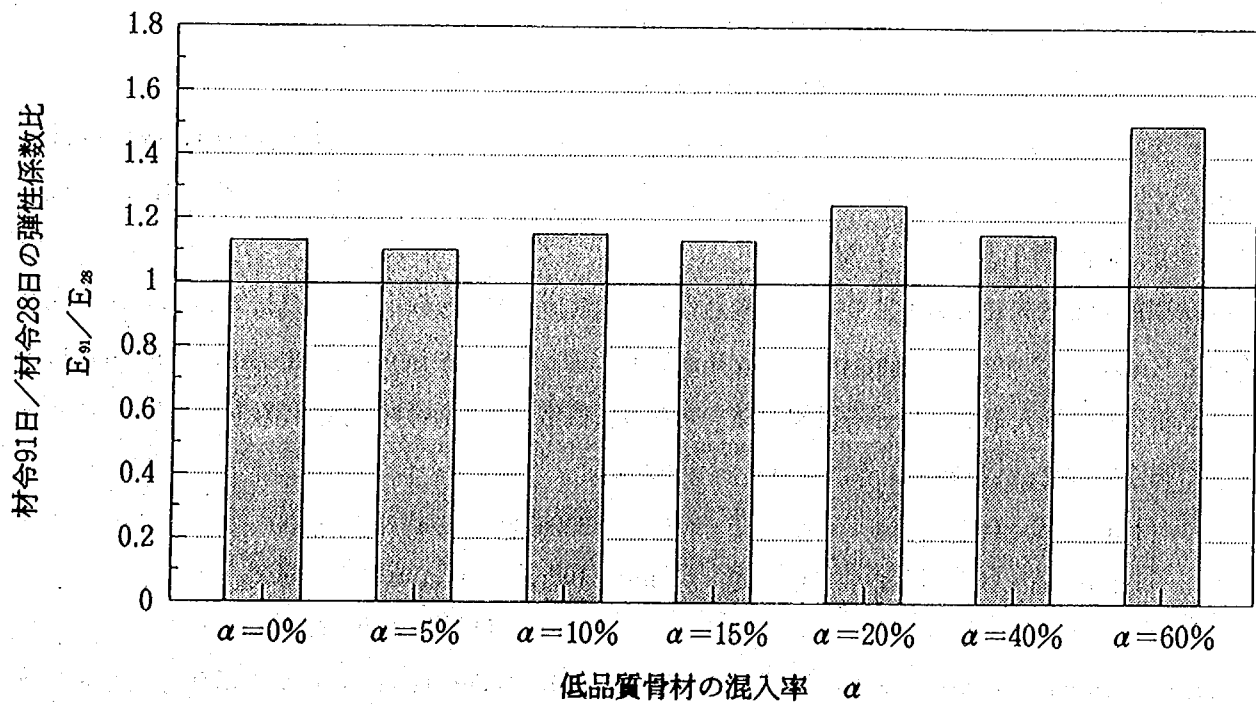


図-3.24 材令がコンクリートの変形性に及ぼす影響

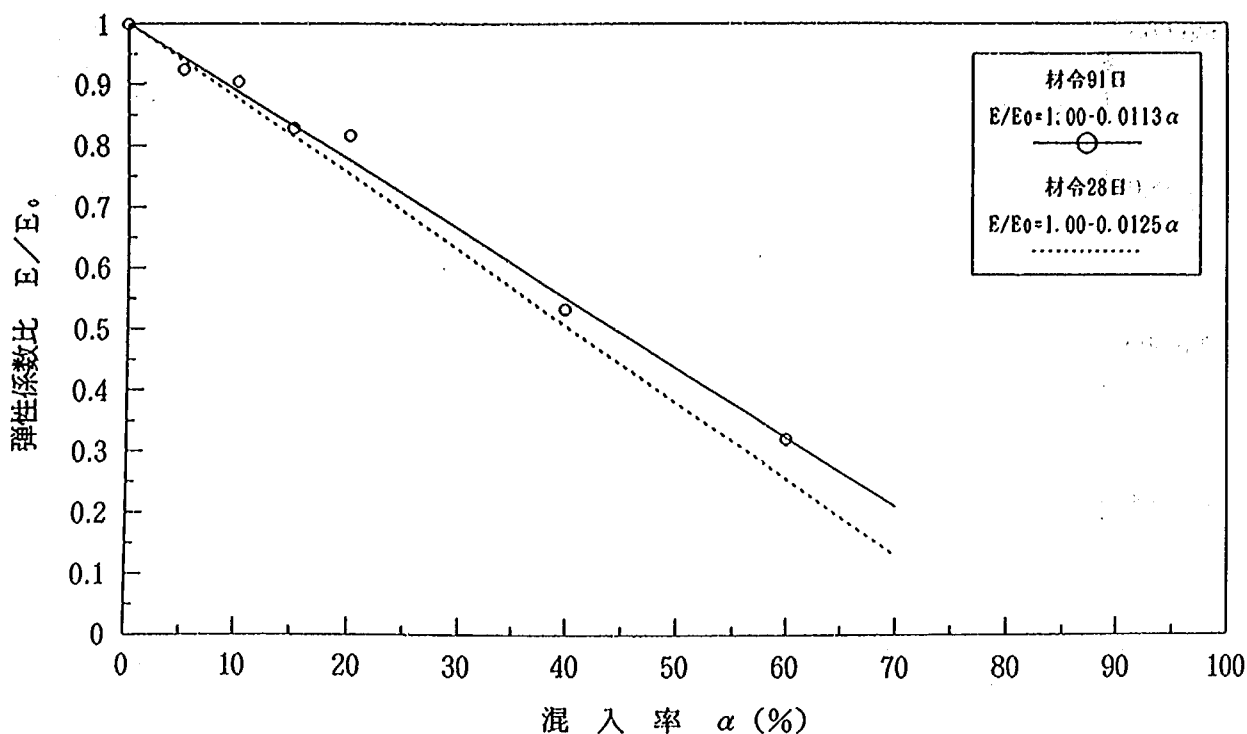


図-3.25 低品質骨材の混入率と弾性係数比の関係（材令28日・材令91日の比較）

この式は、コンクリートを骨材とペーストのマトリックスからなる2相系材料とみなし、その弾性係数を構成材料の弾性係数と構成比の関数として表したものである。ここでは、

- i) 低品質骨材を含有するコンクリートを低品質骨材aと普通骨材からなるコンクリートmからなる2相系材料とみなす。
- ii) E_a は低品質骨材の弾性係数 500 kgf/cm^2 を用いる。
- iii) V_a は低品質骨材のコンクリートの全容積に対する混入率とする。
- iv) E_m は普通骨材からなるコンクリートの弾性係数であるが、ペーストと普通骨材の構成比は各混入率に対して一定ではないので、 E_m は低品質骨材の混入率とともに変化する変数である。いま、 E_{m0} を低品質骨材の混入率が0%の場合の E_m の値とすると、 E_{m0} は実験値として得られているが、 E_m は現段階では未知である。そこで、普通骨材の弾性係数 E_a を仮定して、Hashin-Hansen式を用いて E_{m0} からペーストの弾性係数 E_{pm} を逆算し、 E_a と E_{pm} から再度 Hashin-Hansen式により低品質骨材の混入率毎に E_m を計算した。ちなみに仮定した普通骨材の弾性係数 E_a と逆算したペーストの弾性係数 E_{pm} は次のような組み合わせとなる。

$$\begin{pmatrix} E_a = 400,000 \\ E_{pm} = 204,000 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_a = 500,000 \\ E_{pm} = 135,000 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_a = 600,000 \\ E_{pm} = 108,000 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_a = 700,000 \\ E_{pm} = 94,000 \end{pmatrix}$$

(単位: kgf/cm^2)

- v) Hashin-Hansen式は構成要素のポアソン比を全て0.20とおいて Hansen式を簡略化したものであり、ウレタンゴムのポアソン比はこの仮定と随分異なるが、Hansen式で低品質骨材のポアソン比を0.49として計算した結果は Hashin-Hansen式の結果とほぼ同じであった。ちなみに Hansen式は複

雑すぎてあまり実用的ではない。図-3.26 は、以上の前提に基づいて低品質骨材を含有するコンクリートの弾性係数を算定し、計算値と実験値の比較を行ったものである。これによると、低品質骨材混入率の小さい範囲では計算値と実験値は良く一致することがわかる。

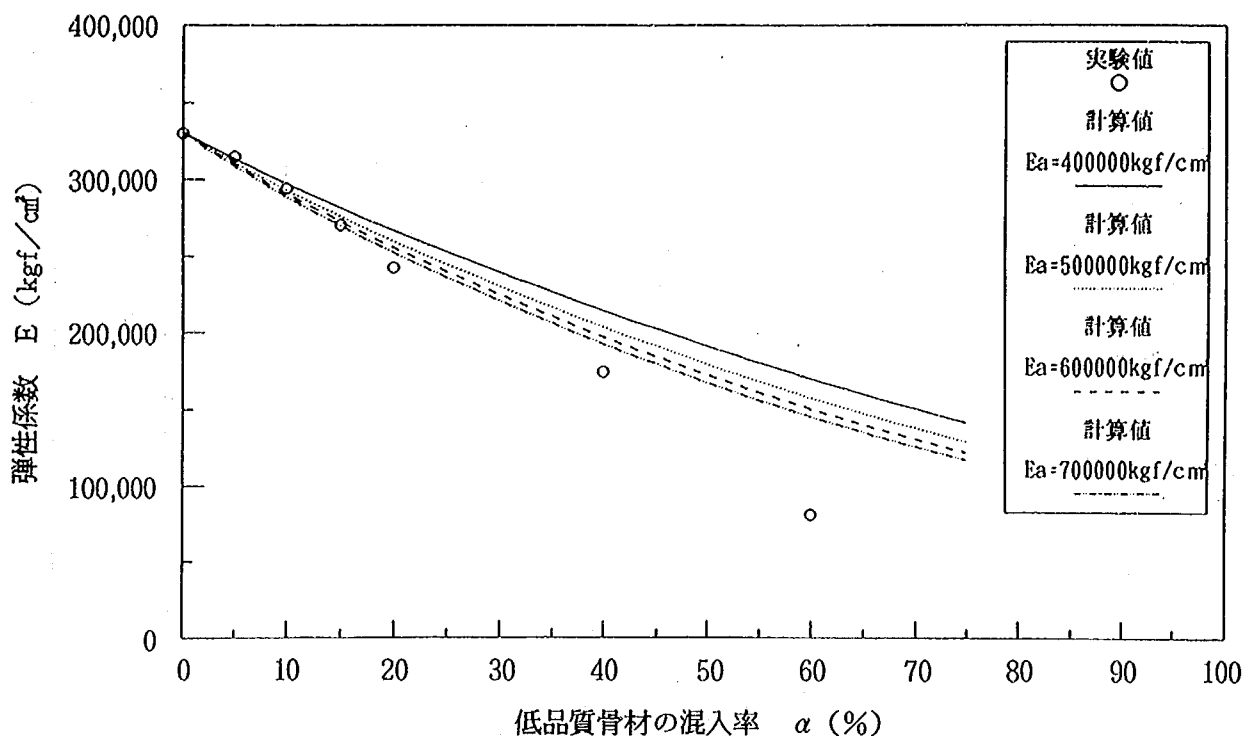


図-3.26 実測による弾性係数と計算より求めた弾性係数の関係（材令28日）

〔3〕圧縮強度と弾性係数の関係

低品質骨材を含有するコンクリートの圧縮強度および変形特性は、低品質骨材の混入率をパラメータにすると、圧縮強度は指数関数、弾性係数は一次関数で回帰され、各々特性が異なることが明かとなったが、ここでは圧縮強度と弾性係数の関係について調べることにする。

低品質骨材の混入率をパラメータとすると、圧縮強度は、 $\sigma_c / \sigma_{c0} = \exp(-A\alpha)$ という関数形で近似することができ、また、弾性係数は、 $E / E_0 = 1 - B\alpha$ という関数形で近似することができた。これらの式から α を消去すると次式が得られる。

$$E = E_0 \left(1 - \frac{B}{A} \ln \sigma_{c0} \right) + E_0 \frac{B}{A} \ln \sigma_c \quad (3.10)$$

この式で、 $E_0 \left(1 - \frac{B}{A} \ln \sigma_{c0} \right)$ と $E_0 \frac{B}{A}$ はともに定数であるから、式 (3.10) は、 $E = a + b \ln \sigma_c$ とおける。したがって、低品質骨材を含有するコンクリートの圧縮強度と弾性係数の関係は、このような対数関数で近似されるものと考えられる。

図-3.27 は、材令28日の強度試験結果をもとに、圧縮強度を横軸、弾性係数を縦軸にとって両者の関係を調べたものである。このとき、圧縮強度と弾性係数の関係は次式のような対数関数によって近似することができる。

$$E = -602740 + 169060 \ln \sigma_c \quad (3.11)$$

また、図-3.28 は、材令91日の強度試験結果をもとに圧縮強度と弾性係数の関係を調べたものである。
このとき、圧縮強度と弾性係数の関数は次式のような対数関数によって近似することができる。

$$E = -657430 + 179240 \ln \sigma_c \quad (3.12)$$

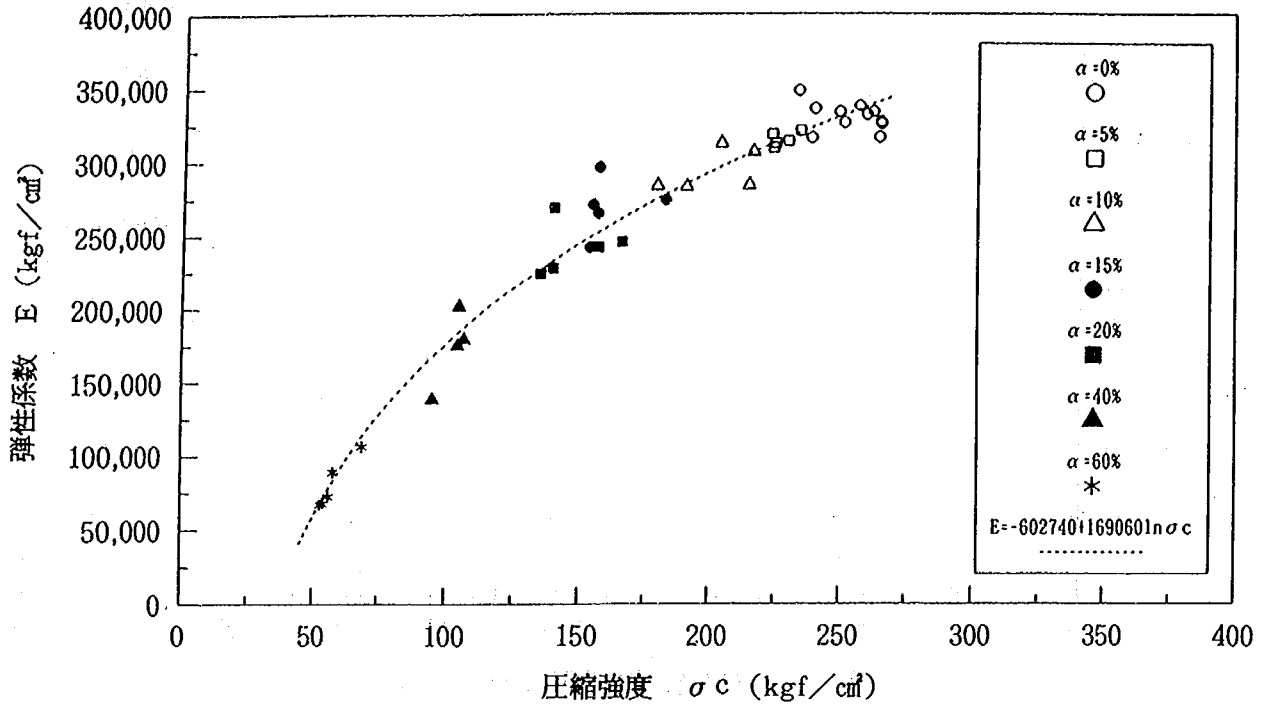


図-3.27 圧縮強度と弾性係数の関係（材令28日）

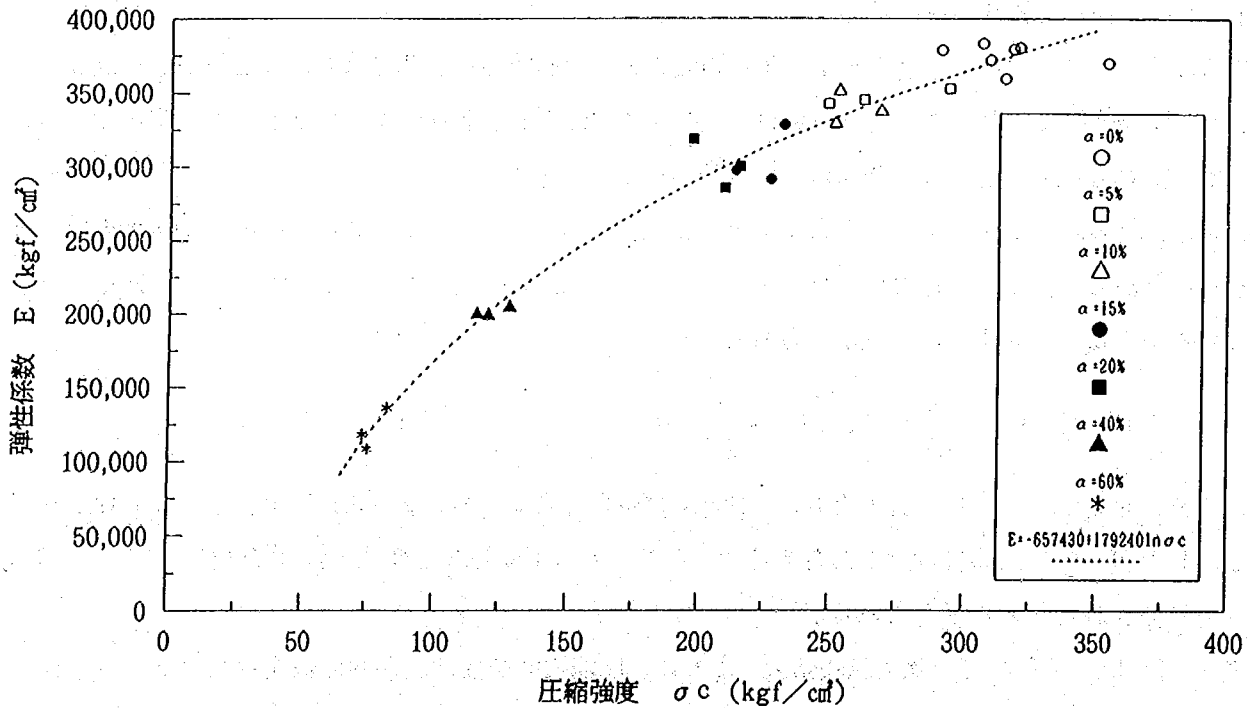


図-3.28 圧縮強度と弾性係数の関係（材令91日）

さらに図-3.29は材令28日と材令91日の試験結果の比較を行ったものである。図-3.29によると、圧縮強度と弾性係数の関係は、材令が異なった場合にもほぼ同一であることがわかる。

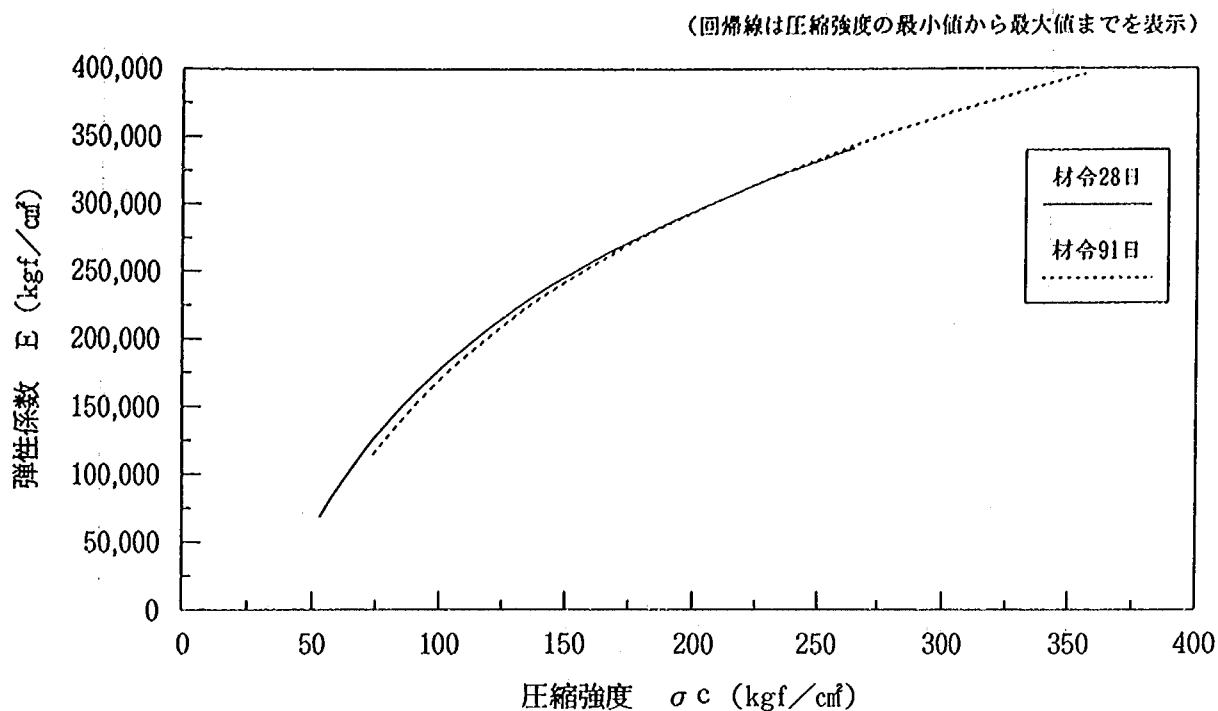


図-3.29 圧縮強度と弾性係数の関係
(材令28日と材令91日の比較)

[4] 破壊ひずみと破壊の特性

ここでは、図-3.30に示すように破壊応力に達したときの縦ひずみを破壊ひずみ ϵ_b と定義する。破壊ひずみは、破壊応力時における縦ひずみを計測する4つのゲージもしくは8つのゲージのひずみ測定値の平均値として求められるが、破壊応力付近ではゲージが剥がれるなどの原因でひずみが減少する場合がある。そこで個々のゲージの応力-ひずみ曲線を調べ、このような計測データがある場合には、このデータを除外し、残りのゲージによる平均としている。

表-3.9と表-3.10にそれぞれ材令28日と材令91日における破壊ひずみの算定結果を示す。また、図-3.31は、材令28日の圧縮強度試験結果により低品質骨材の混入率と破壊ひずみの関係を示したものである。前述したように破壊応力付近でのひずみの計測値には信頼性の問題があり、図中の実線で示すように混入率の増加に伴う破壊ひずみの低減傾向は、圧縮強度や弾性係数の場合に比べて凹凸が目立つ結果となっている。そこで破壊応力の95%でのひずみについても同様な検討を行い、両者を比較して破壊応力付近でのひずみの特性を評価するものとした。その結果、両者は定性的にほぼ似た傾向を示しており、特に大きな誤差は生じていないものと判断することができた。この図から、低品質骨材の混入率の増加に伴い圧縮強度・弾性係数と同様に破壊ひずみも減少することがわかる。また、破壊ひずみは、低品質骨材の混入率の小さいところで大きな低下を示し、低品質骨材の混入率の大きいところでは低下が鈍化するという圧縮強度の場合に似た特性を示すが、この傾向は圧縮強度の場合よりもさらに明瞭である。図-3.32は、材令28

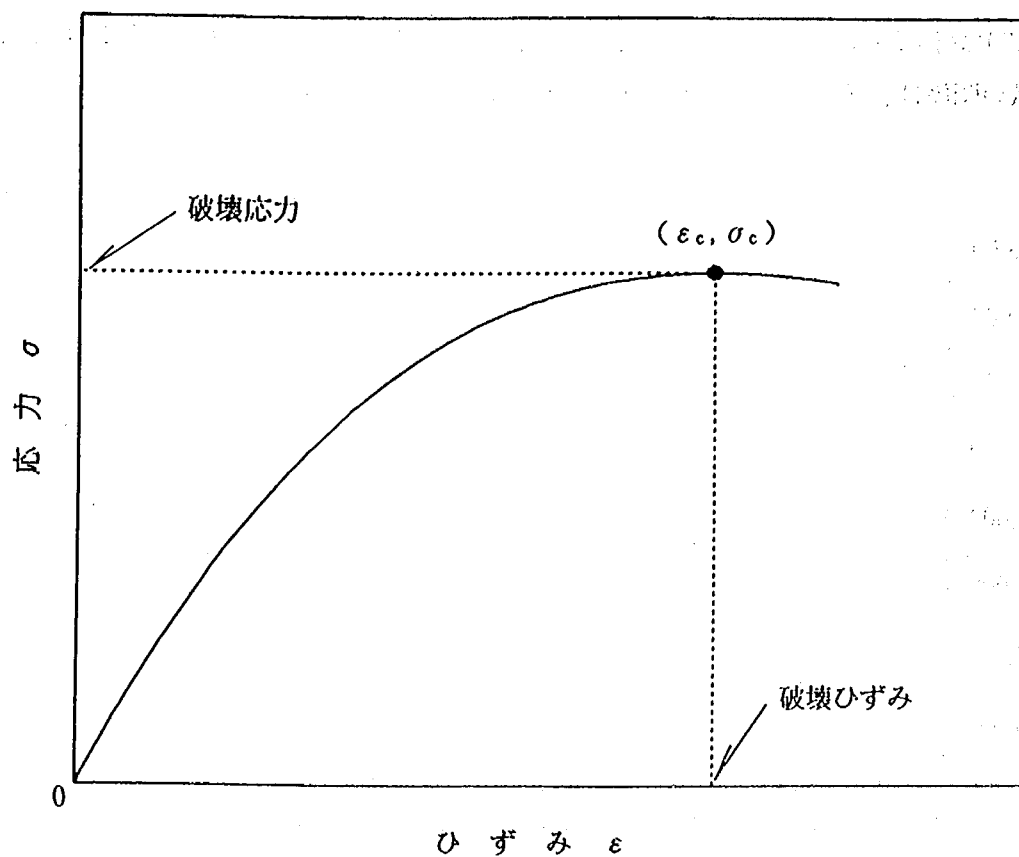


図-3.30 破壊ひずみの定義

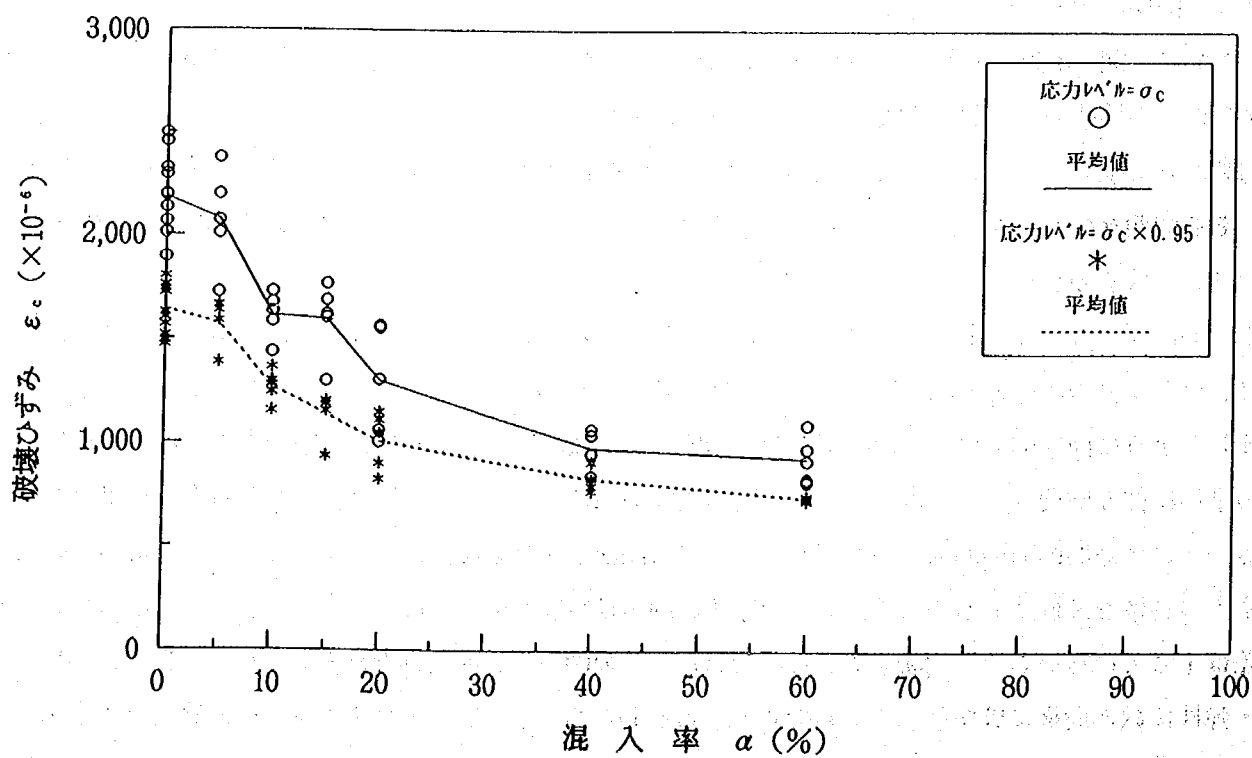


図-3.31 低品質骨材の混入率と破壊ひずみの関係 (材令28日)

表-3.9 破壊ひずみの算定結果（材令28日）

ケース	供試体No.	低品質骨材 の混入率 α (%)	破壊ひずみ ε_c $\times 1 E - 6$	平均値 ε_c $\times 1 E - 6$	標準偏差 $\times 1 E - 6$	変動係数
case 0 - 1 *	1	0	2499	2303	111	0.04813
	2	0	2297			
	3	0	2193			
	4	0	2325			
	5	0	2201			
case 0 - 2 **	1	0	2137	2264	140	0.06191
	2	0	2195			
	3	0	2459			
case 0 - 3 ***	1	0	1897	1993	72	0.03598
	2	0	2069	2208	173	0.07827
	3	0	2014	(2208)	(173)	(0.07827)
case 1 *	1	5	2012	2079	217	0.10442
	2	5	2074			
	3	5	1725			
	4	5	2380			
	5	5	2202			
case 2 *	1	10	1680	1616	100	0.06213
	2	10	1439			
	3	10	1733			
	4	10	1638			
	5	10	1588			
case 3 **	1	15	1692	1598	160	0.09995
	2	15	1769			
	3	15	1607			
	4	15	1300			
	5	15	1623			
case 4 **	1	20	1569	1300	237	0.18221
	2	20	1063			
	3	20	1556			
	4	20	1306			
	5	20	1006			
case 5 ***	1	40	951	975	88	0.09039
	2	40	1041			
	3	40	1067			
	4	40	—			
	5	40	842			
case 6 ***	1	60	828	924	101	0.10969
	2	60	813			
	3	60	1089			
	4	60	975			
	5	60	917			

注1) *)***)***はそれぞれ同一日に供試体を作製した。

注2) ()は case 0 - 1 から case 0 - 3 までのデータを用いた結果。

表-3.10 破壊ひずみの算定結果（材令91日）

ケース	供試体No.	低品質骨材 の混入率 α (%)	破壊ひずみ ϵ_c $\times 1 E - 6$	平均値 ϵ_c $\times 1 E - 6$	標準偏差 $\times 1 E - 6$	変動係数
case 0 - 1 *	6	0	2361	2244	107	0.04757
	7	0	2269			
	8	0	2103			
case 0 - 2 **	4	0	2183	2052	132	0.06410
	5	0	1920			
case 0 - 3 ***	4	0	1874	1915 (2095)	41 (172)	0.02141 (0.0822)
	5	0	1956			
case 1 *	6	5	2089	1992	69	0.03455
	7	5	1934			
	8	5	1954			
case 2 *	6	10	1729	1824	149	0.08178
	7	10	2035			
	8	10	1709			
case 3 **	6	15	1475	1455	26	0.01815
	7	15	1418			
	8	15	1473			
case 4 **	6	20	1333	1364	84	0.06137
	7	20	1280			
	8	20	1478			
case 5 ***	6	40	1053	1069	63	0.05936
	7	40	1000			
	8	40	1153			
case 6 ***	6	60	886	976	64	0.06537
	7	60	1012			
	8	60	1029			

注1) *)***)はそれぞれ同一日に供試体を作製した。

注2) ()は case 0 - 1 から case 0 - 3 までのデータを用いた結果。

日の試験結果により、低品質骨材の混入率と破壊ひずみ比の関係を示したものである。ここで、破壊ひずみ比とは、各ケースの破壊ひずみを同一日に作製した基本配合のコンクリートの破壊ひずみの平均値で除したものである。低品質骨材の混入率と破壊ひずみ比の関係をべき乗関数； $Y = a X^b$ を用いて近似すると、

$$\epsilon_c / \epsilon_{c0} = 1.375 \alpha^{-0.273} \quad (3.15)$$

なる曲線に回帰する。ただし、上記のべき乗関数は $\alpha = 0$ で $\epsilon_c / \epsilon_{c0} = \infty$ となるので適用が可能なのは $\alpha \geq 5\%$ である。

次に材令91日の結果も含めて、破壊ひずみの特性を調べる。図-3.33は、低品質骨材の混入率と破壊ひずみの関係を材令28日と材令91日に対して示したものである。これによれば、材令による破壊ひずみの変化は小さく、材令28日と材令91日ではほとんど同じである。また、図-3.34は、材令91日の試験結果により、低品質骨材の混入率と破壊ひずみ比の関係を示したものを比較したものである。ここで、材令91日の低品質骨材の混入率と破壊ひずみ比の関係をべき乗関数で回帰した式は次のとおりである。

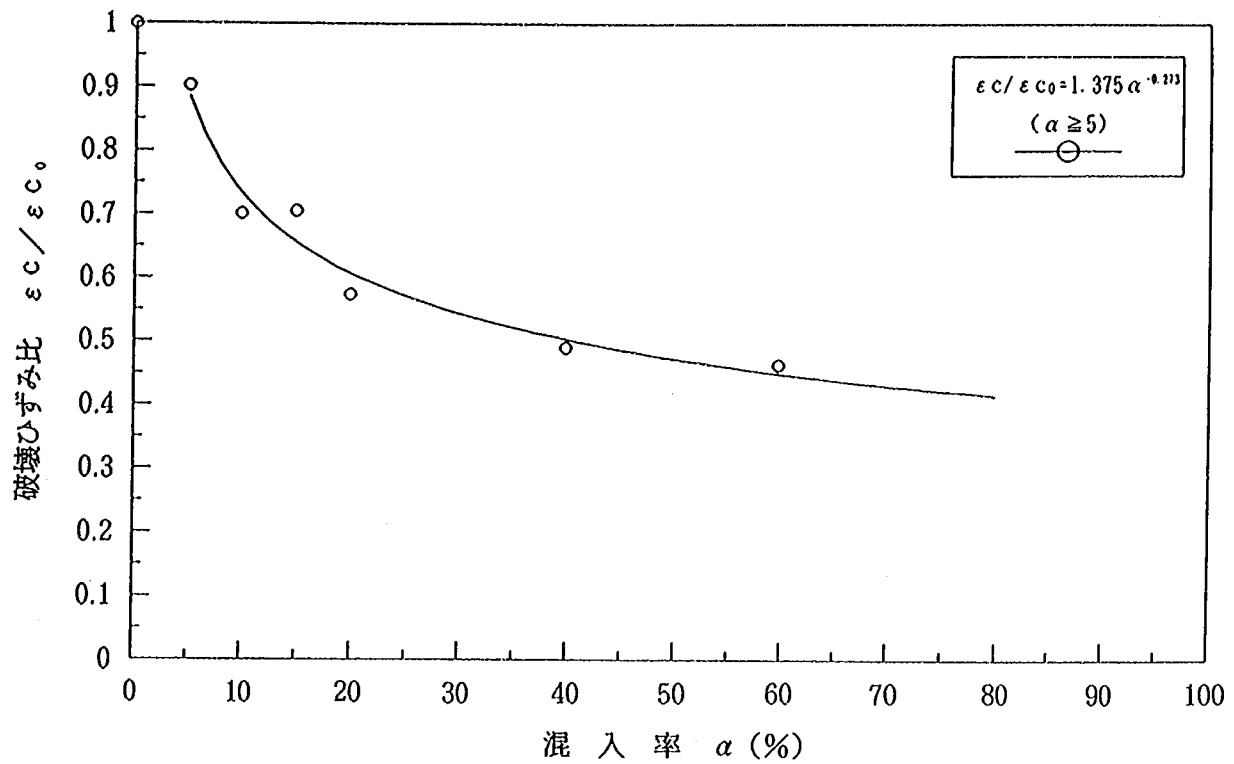


図-3.32 低品質骨材の混入率と破壊ひずみ比の関係 (材令28日)

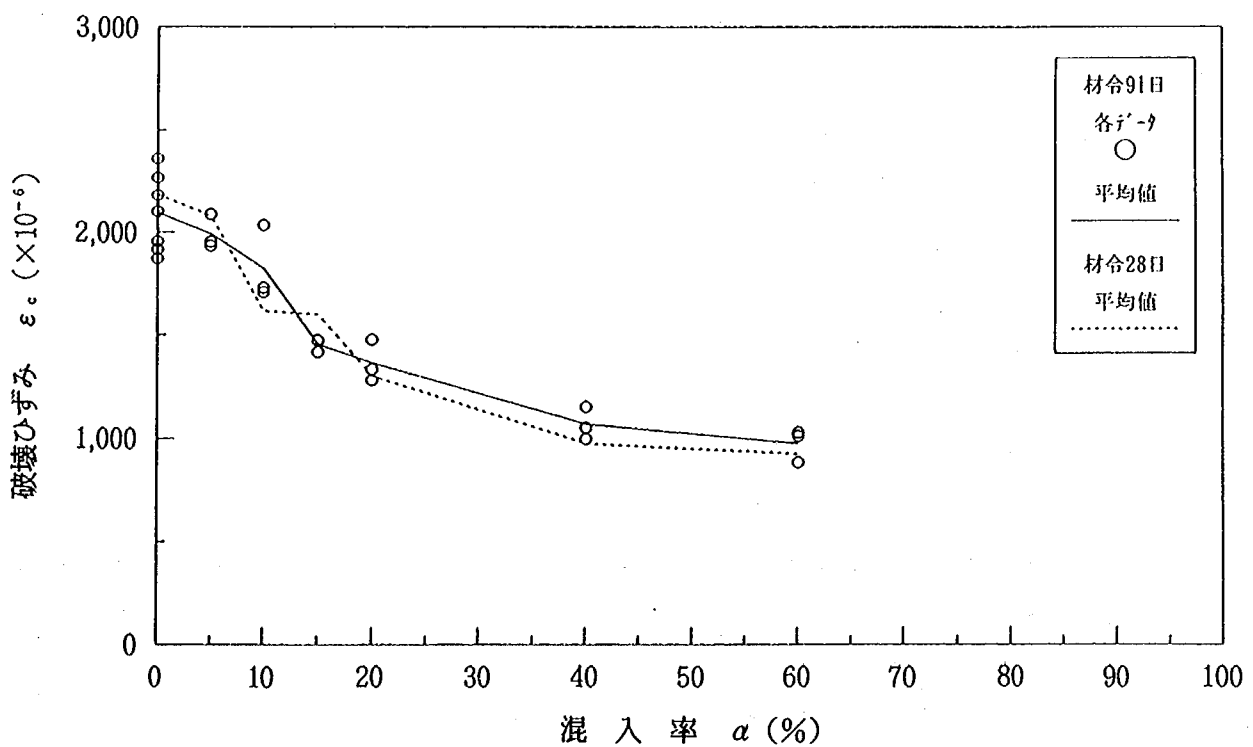


図-3.33 低品質骨材の混入率と破壊ひずみの関係 (材令28日・材令91日の比較)

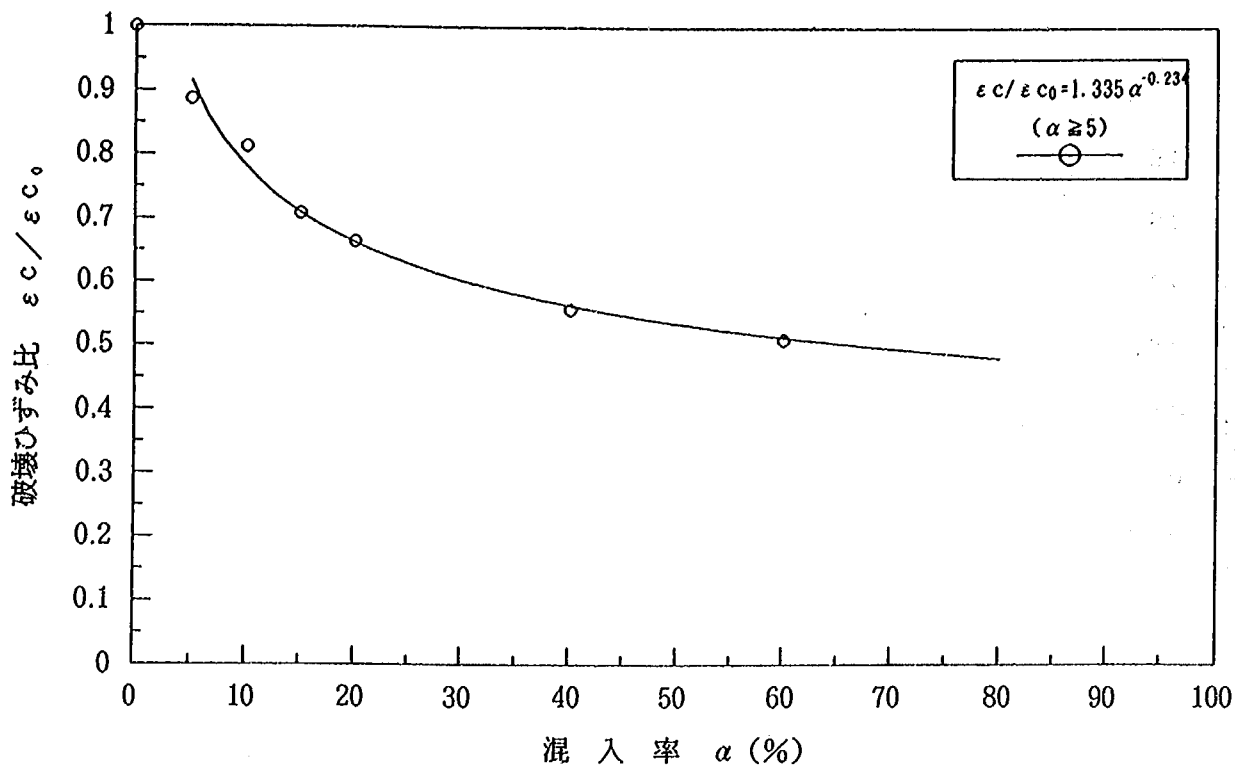


図-3.34 低品質骨材の混入率と破壊ひずみ比の関係（材令91日）

$$\varepsilon_c / \varepsilon_{c0} = 1.335 \alpha^{-0.234} \quad (3.16)$$

次に、図-3.35 は低品質骨材の混入率を横軸にとって材令28日から材令91日までの破壊ひずみの伸び率を、圧縮強度、弾性係数の伸び率とともに示したものである。

ここで、材令28日に対する材令91日の圧縮強度の伸び率は、混入率をパラメータとした場合、(3.2)式と(3.3)式より、

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_{c91}}{\sigma_{c28}} &= \frac{\exp(-0.0229\alpha)}{\exp(-0.0237\alpha)} \cdot \frac{\sigma_{c091}}{\sigma_{c028}} \\ &= \exp(-0.0008\alpha) \cdot \frac{\sigma_{c091}}{\sigma_{c028}} \end{aligned} \quad (3.17)$$

で表される。また、材令28日に対する材令91日の弾性係数の伸び率は、混入率をパラメータとした場合、(3.6)式と(3.7)式より、

$$\frac{E_{91}}{E_{28}} = \frac{1-0.0113\alpha}{1-0.0125\alpha} \cdot \frac{E_{091}}{E_{028}} \quad (3.18)$$

で表される。また、材令28日に対する材令91日の破壊ひずみの伸び率は、混入率をパラメータとした場合、(3.15)式と(3.16)式より、

$$\begin{aligned} \frac{\varepsilon_{c91}}{\varepsilon_{c28}} &= \frac{1.335\alpha^{-0.273}}{1.375\alpha^{-0.234}} \cdot \frac{\varepsilon_{c091}}{\varepsilon_{c028}} \\ &= 0.971\alpha^{-0.039} \cdot \frac{\varepsilon_{c091}}{\varepsilon_{c028}} \end{aligned} \quad (3.19)$$

で表される。

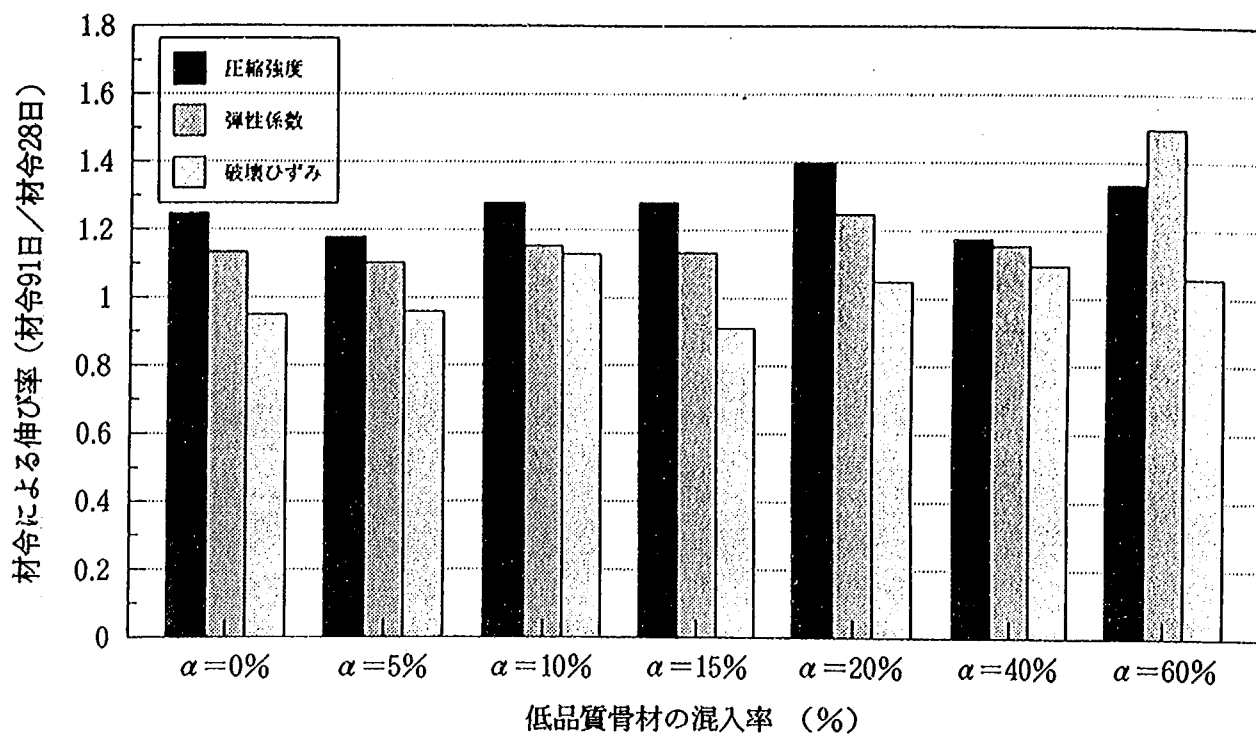


図-3.35 材令による力学的特性の変化

これらの式を図化すると、図-3.36 のようになる。これより、圧縮強度と破壊ひずみの材令の変化に伴う伸び率は、低品質骨材の混入率によらずほぼ一定であるが、弾性係数は低品質骨材の混入率によって変化し、特に混入率50%付近からの伸び率が大きくなることからわかる。

次に圧縮強度と破壊ひずみの関係を、材令28日と材令91日についてそれぞれ図-3.37、図-3.38に示す。これによると両者とも圧縮強度と破壊ひずみの間には比例関係があることがわかる。また、図-3.39は、両者の回帰線を比較したものである。図によれば、材令28日と材令91日の回帰線はかなり異なっている。これは材令の変化に伴い圧縮強度は変化するが破壊ひずみはあまり変化がないためである。

[5] 横ひずみの計測結果

次に、低品質骨材を含有するコンクリートの横ひずみの特性について検討する。なお、横ひずみの計測は、材令28日では1ケース5本の供試体のうち2本、材令91日では1ケース3本の供試体のうち1本について実施した。

基本配合のコンクリートについて、縦ひずみ ε_y と横ひずみ ε_x に対する $\sigma - \varepsilon$ 曲線の一例を図-3.40に示す。低品質骨材を含有するコンクリートの $\sigma - \varepsilon$ 曲線も概ねこれに類似した特性となっているが、これとは異質なものが幾つか見られる。横ひずみの詳しい特性についてはポアソン比によって調べることとする。ポアソン比 ν は次式で定義される。

$$\nu = \varepsilon_x / \varepsilon_y \quad (3.20)$$

コンクリートのポアソン比は一般に0.2程度で、ある応力まではほぼ一定であるが、破壊強度付近で急激に大きくなる。ここでのポアソン比は、この一定値を示す範囲での平均値をもって定義するが、低品質骨材を含有するコンクリートのうち幾つかの計測結果ではこの範囲があまり明瞭でない場合がある。図-

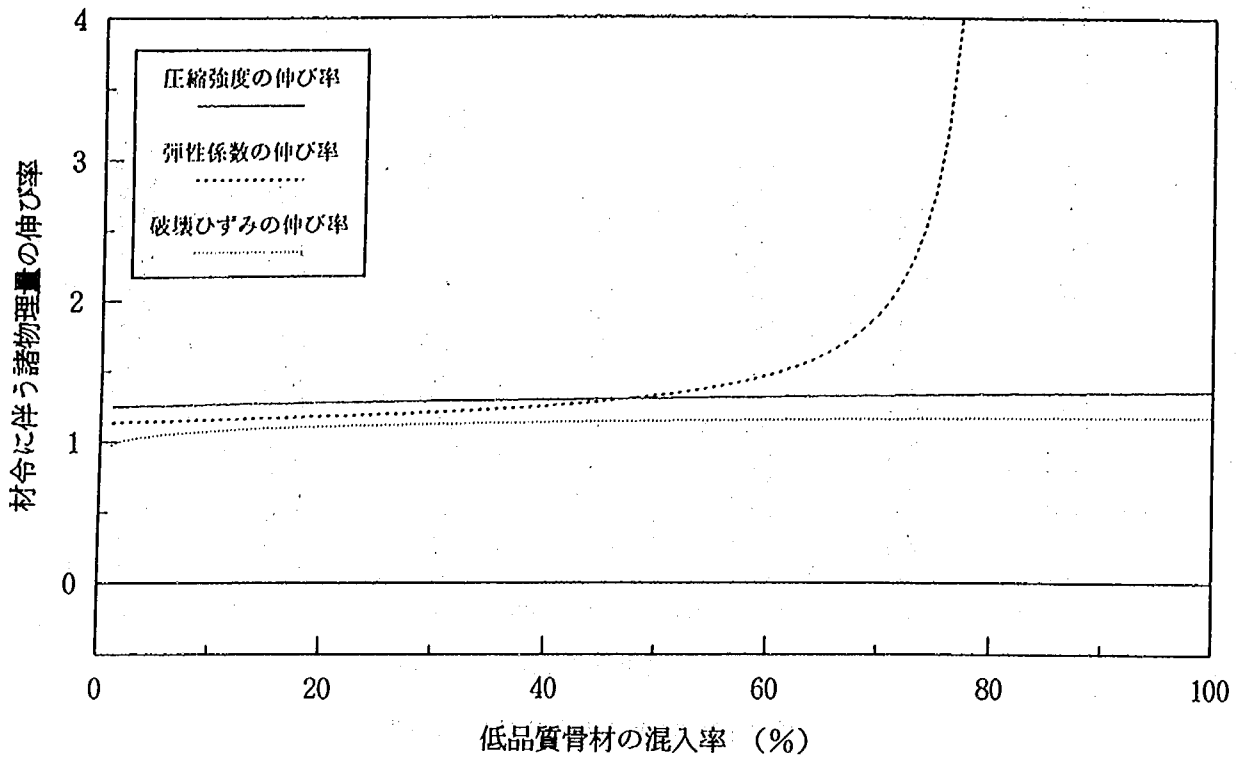


図-3.36 低品質骨材の混入率と力学特性の材令依存性の関係

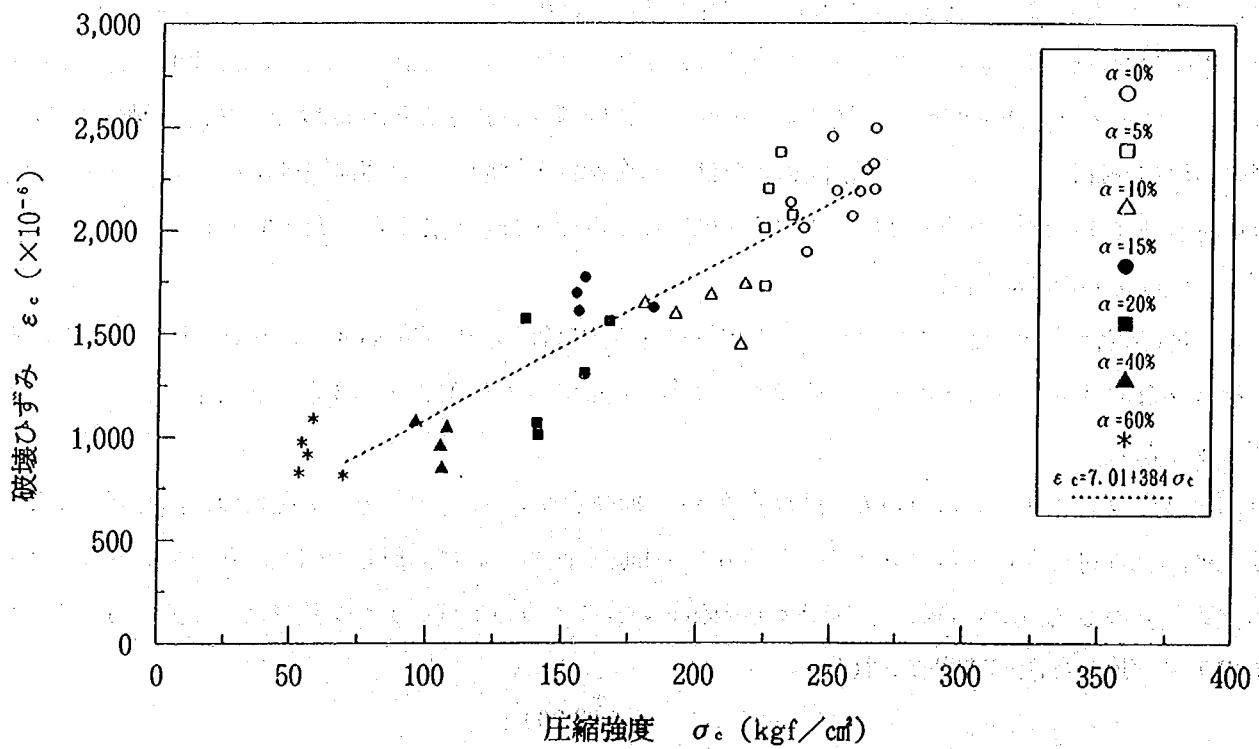


図-3.37 圧縮強度と破壊ひずみの関係（材令28日）

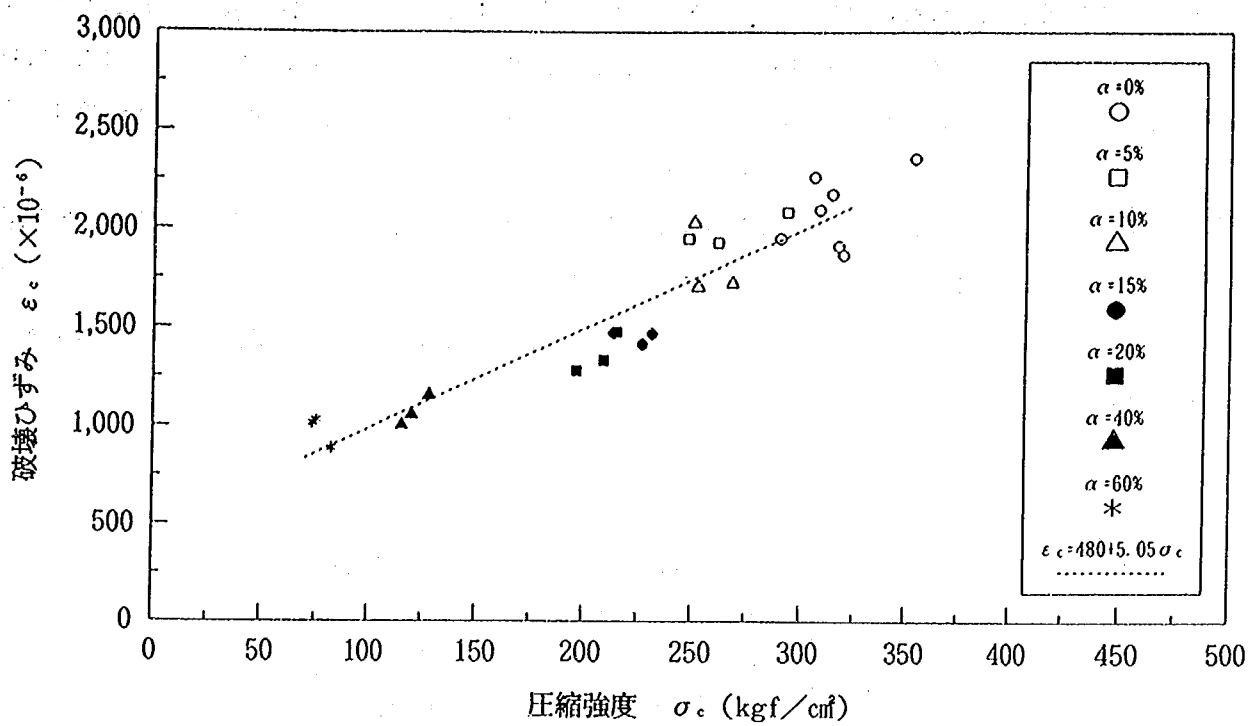


図-3.38 圧縮強度と破壊ひずみの関係 (材令91日)

(回帰線は圧縮強度の最小値から最大値までを表示)

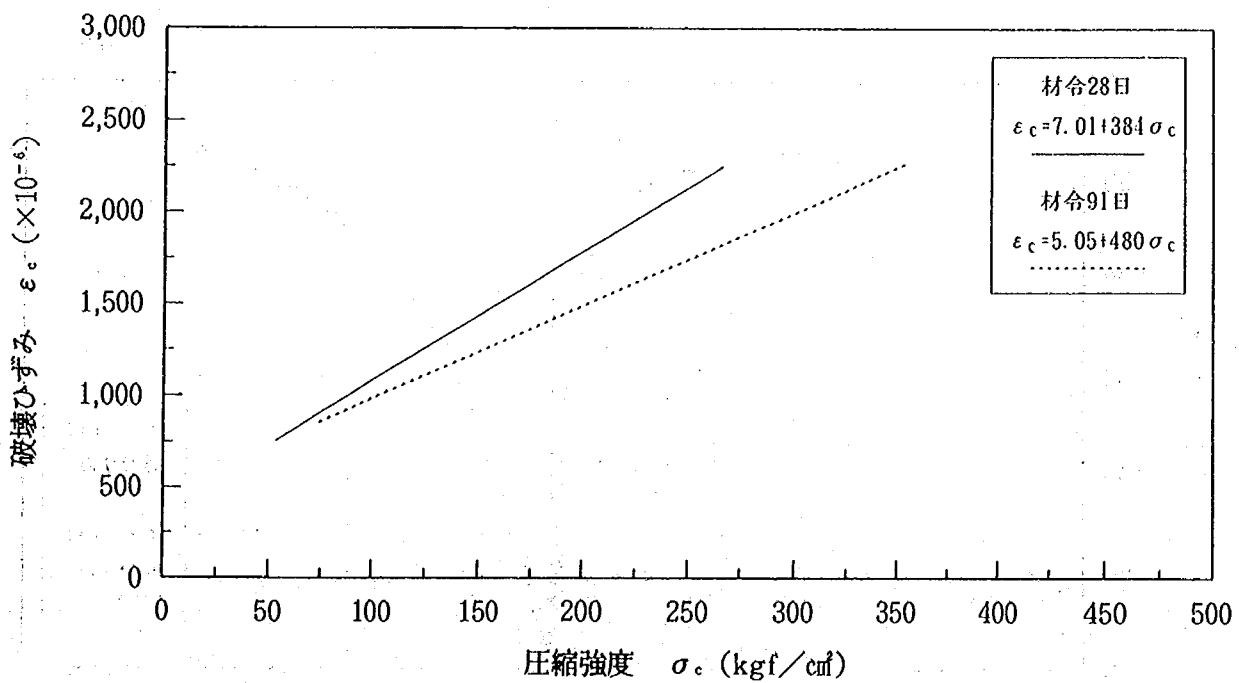


図-3.39 圧縮強度と破壊ひずみの関係
(材令28日と材令91日の回帰線による比較)

3.41は材令28日における試験結果についてポアソン比の算定根拠を示したもので、一定範囲とみなしたところを図示している。低品質骨材の混入率とポアソン比の関係をみると、図-3.42に示すようにポアソン比のばらつきは大きく、各ケースの平均値によっても明確な傾向は見いだせない。また、図-3.43は材令91日の試験結果に対して、低品質骨材の混入率とポアソン比の関係を示したものである。材令28日の場合と比較して各ケースの変動は小さく、ポアソン比はほぼ一定の値を示している。

今回の試験では、ポアソン比に大きなばらつきが生じ、計測値の信頼性に若干の問題はあるが、低品質骨材の混入率とポアソン比の関係を直線回帰式により求めると、図-3.44 および図-3.45 に示すようになり、低品質骨材を含有するコンクリートのポアソン比は、低品質骨材の混入率が大きくなると若干大きくなる傾向を示す。

表-3.11 接戦弾性係数算定結果

ケース	供試体 No.	割線弾性係数 (kgf/cm ²)	接戦弾性係数 (kgf/cm ²)
ケース 6 混入率 60% 材 令 28日	1	67300	79600
	2	106600	113800
	3	89100	98200
	4	68000	95300
	5	72600	95800

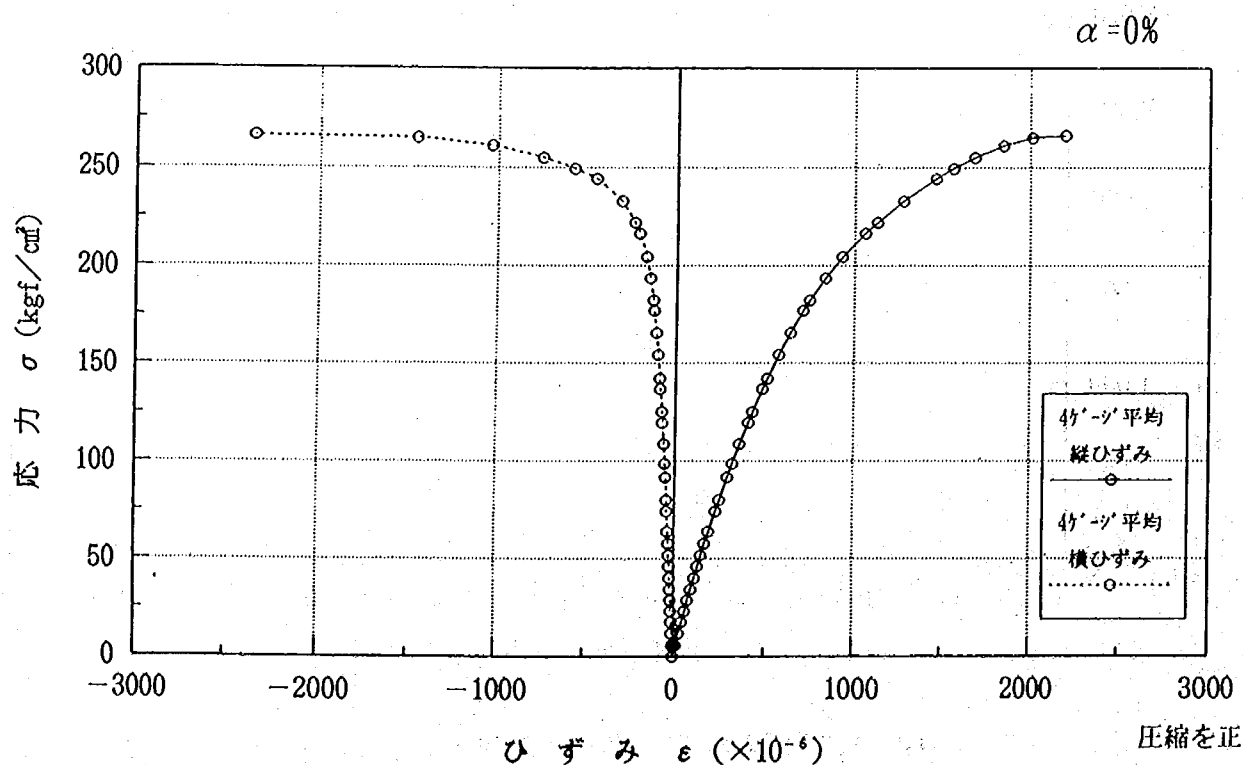


図-3.40 応力-ひずみ曲線

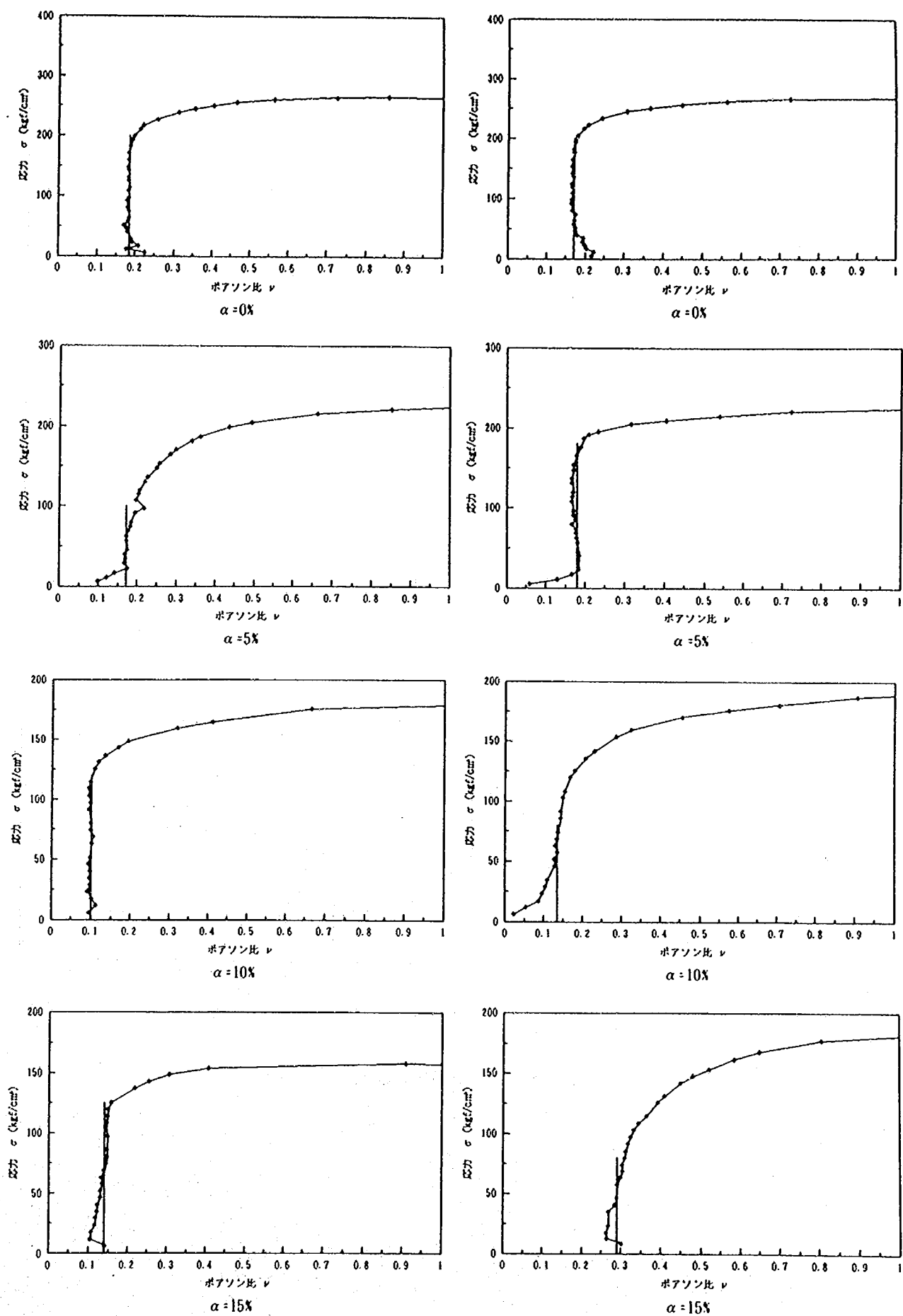
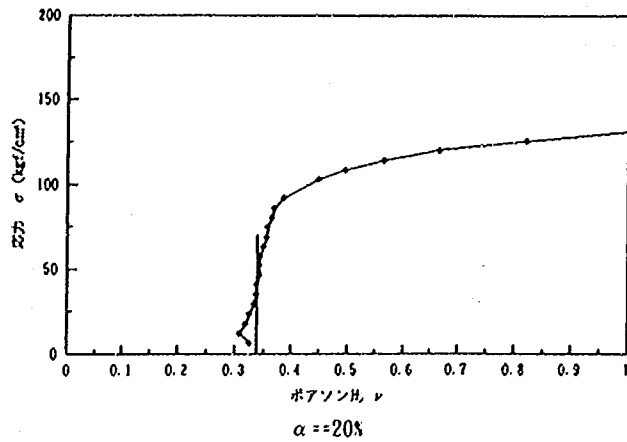
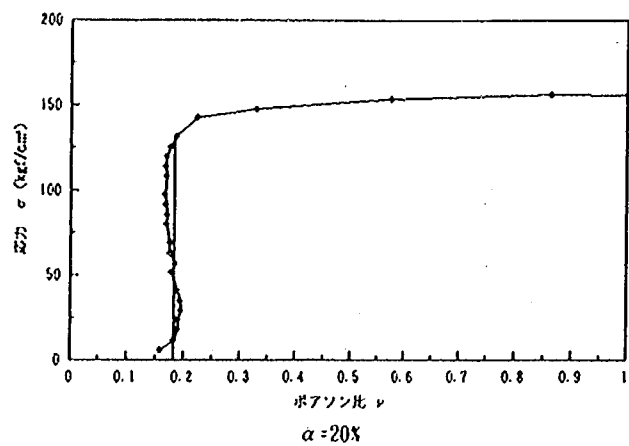


図-3.41 ポアソン比の算定根拠 (その1)



P504 欠測

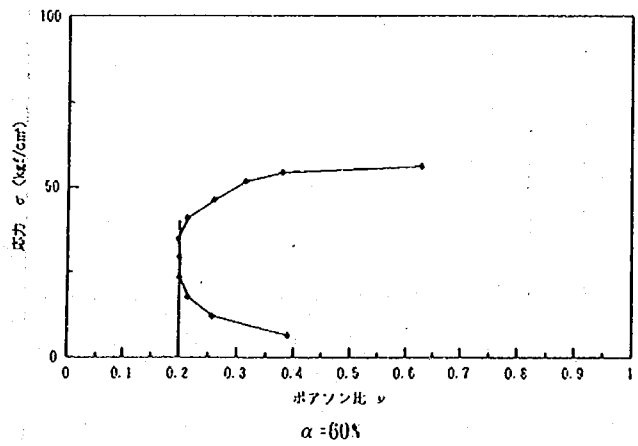
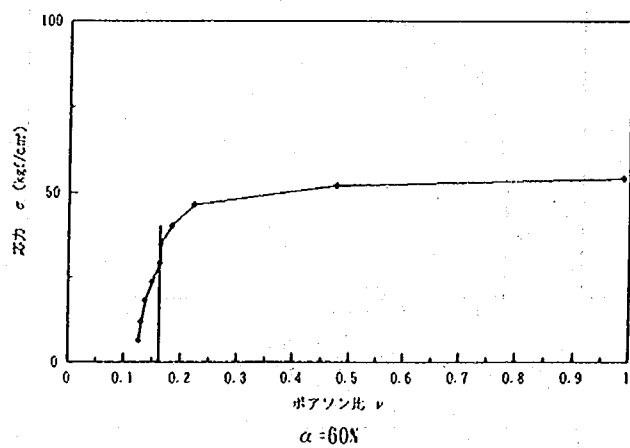
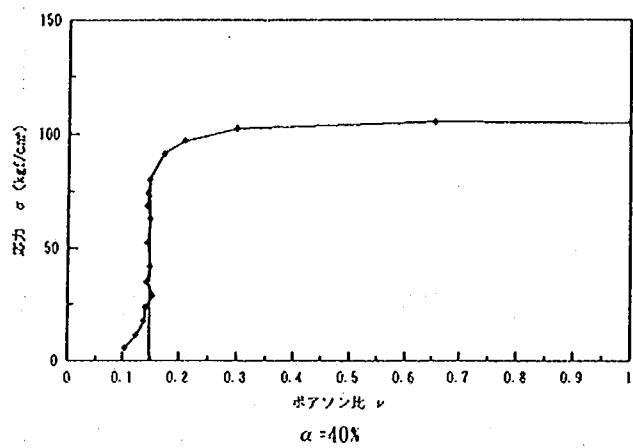


図-3.41 ポアソン比の算定根拠 (その2)

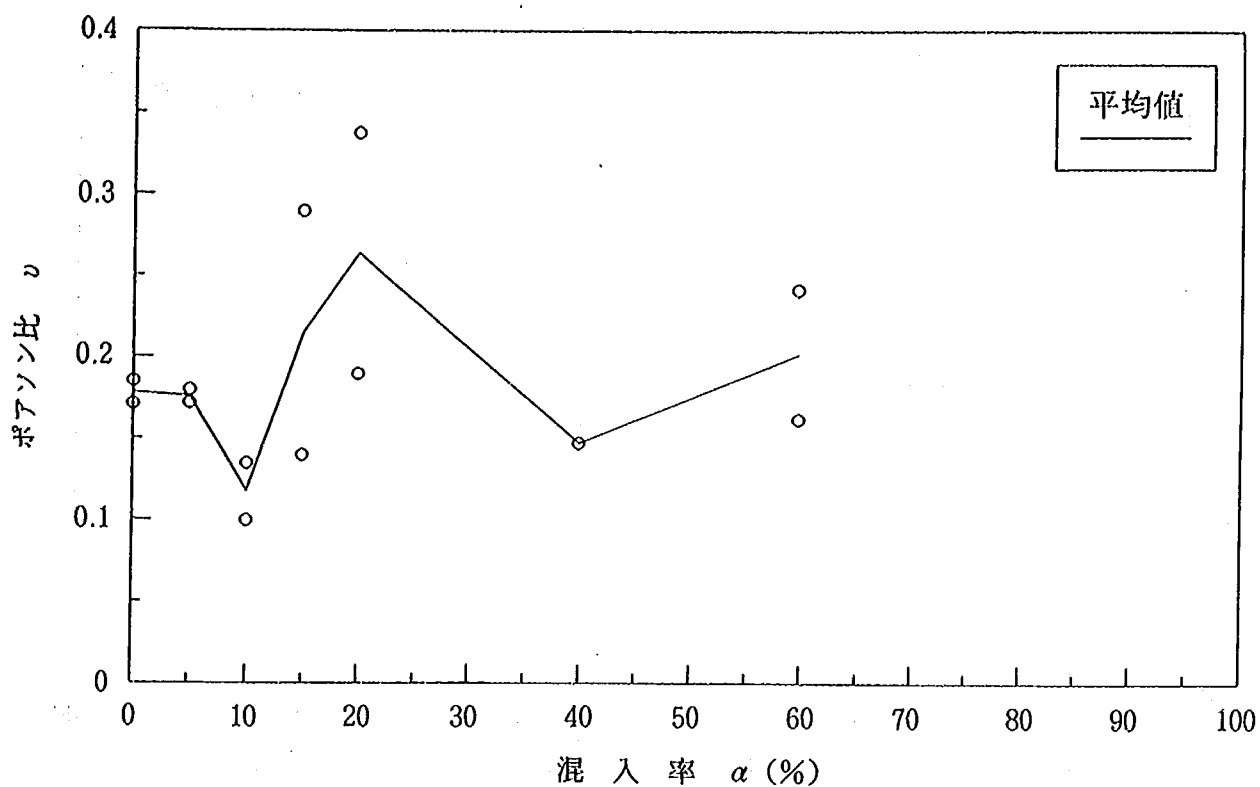


図-3.42 低品質骨材の混入率とポアソン比の関係 (材令28日)

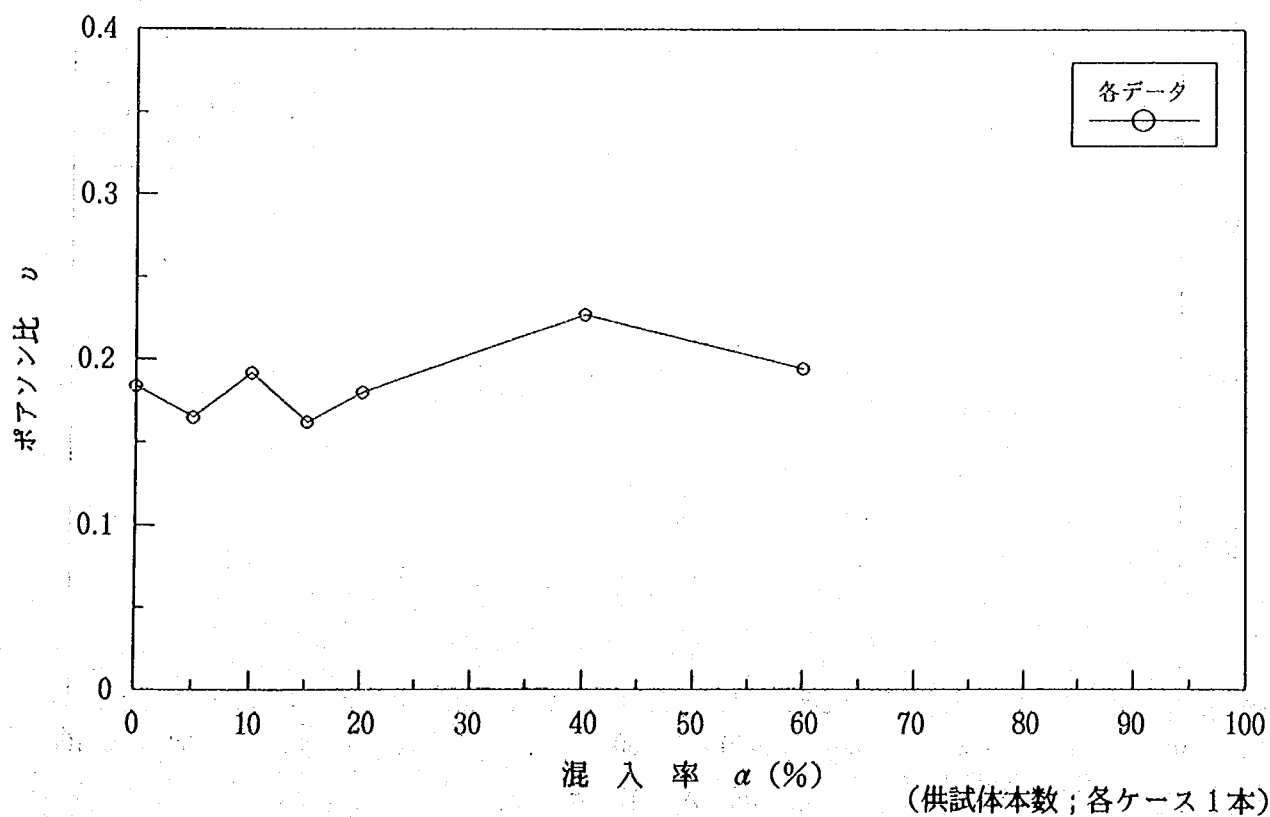


図-3.43 低品質骨材の混入率とポアソン比の関係 (材令91日)

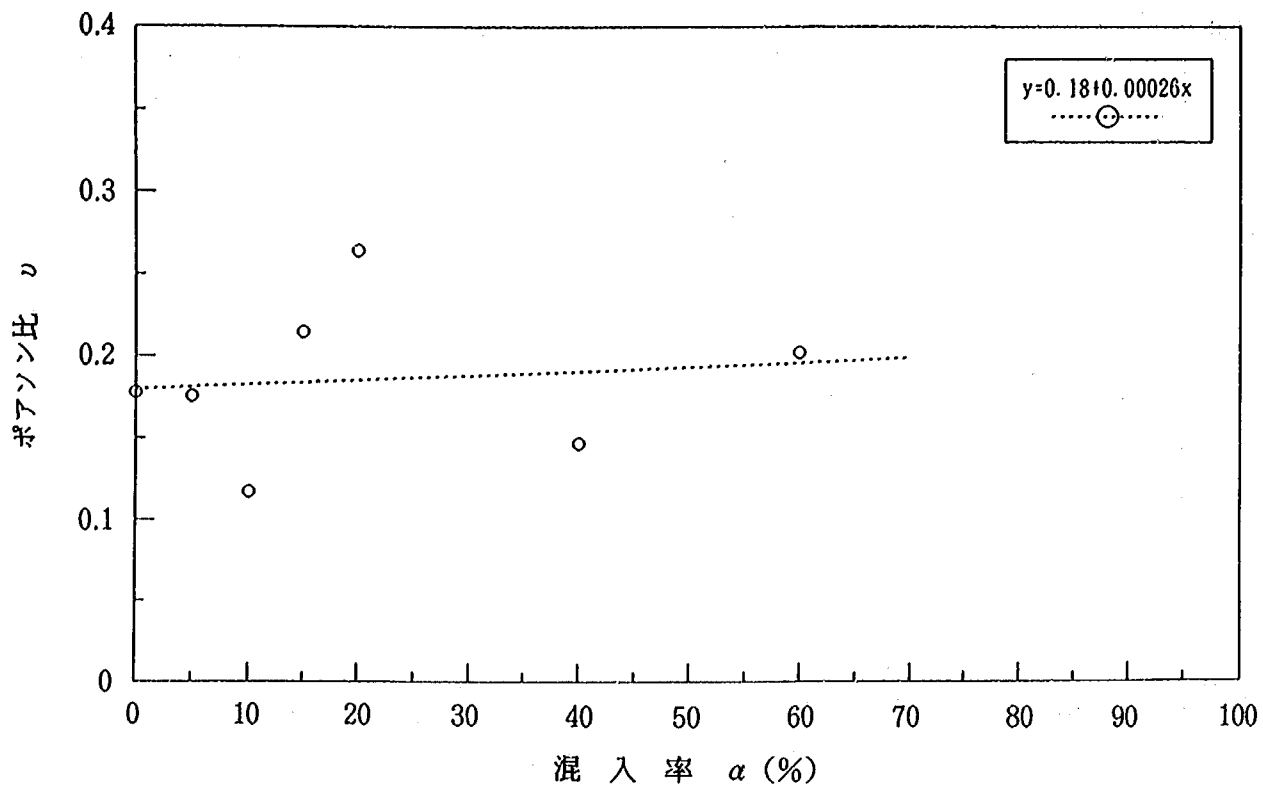


図-3.44 低品質骨材の混入率とポアソン比の関係 (材令28日)

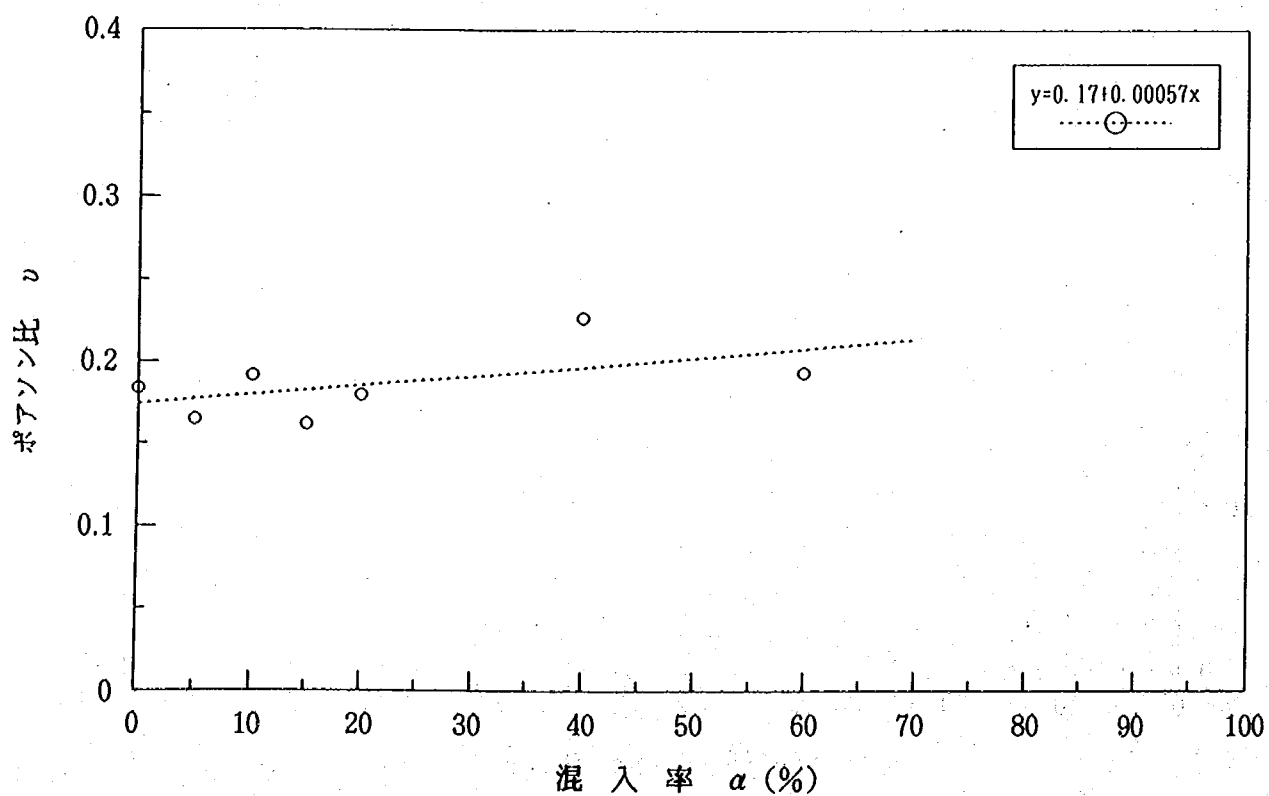


図-3.45 低品質骨材の混入率とポアソン比の関係 (材令91日)

4. 試験結果のまとめ

4.1 試験結果のまとめ

通常の骨材に比べて力学的な品質の劣る骨材が混入した場合のコンクリートの力学的特性に与える影響を調べるため、通常の骨材よりも変形性が極端に劣るウレタンゴムを低品質骨材と見なして、低品質骨材を含むコンクリートの強度試験を実施した。その結果、次のような事項が明らかになった。なお、ここでは、コンクリート中の粗骨材に含まれる低品質骨材の容積率を低品質骨材の混入率と呼ぶ。

① 低品質骨材がコンクリートの強度に及ぼす影響

低品質骨材の混入率の増加に伴って、コンクリートの圧縮強度は単調に低下する。今回の試験結果によれば、コンクリートの圧縮強度の低下率は次のような指数関数で近似することができる。なお、低品質骨材の混入率を固定した場合、圧縮強度の低下率は材令によらずほぼ一定である。

材令28日の場合：

$$\sigma_c / \sigma_{c0} = 1.0 \cdot \exp(-0.0237 \cdot \alpha) \quad (1)$$

材令91日の場合：

$$\sigma_c / \sigma_{c0} = 1.0 \cdot \exp(-0.0229 \cdot \alpha) \quad (2)$$

ここに、

σ_c : 低品質骨材を含有するコンクリートの圧縮強度

σ_{c0} : 低品質骨材を含有しないコンクリートの圧縮強度

α : 低品質骨材の混入率 (%)

② 低品質骨材がコンクリートの変形性に及ぼす影響

低品質骨材の混入率の増加に伴って、コンクリートの弾性係数は単調に低下する。今回の試験によれば、コンクリートの弾性係数の低下率は次のような一次式で近似することができる。なお、低品質骨材の混入率を固定した場合、弾性係数比は材令の増加とともにやや大きくなる傾向にある。

材令28日の場合：

$$E / E_0 = 1.0 - 0.0125 \alpha \quad (3)$$

材令91日の場合：

$$E / E_0 = 1.0 - 0.0113 \alpha \quad (4)$$

ここに、

E : 低品質骨材を含有するコンクリートの弾性係数

E_0 : 低品質骨材を含有しないコンクリートの弾性係数

α : 低品質骨材の混入率 (%)

③ 低品質骨材を含有するコンクリートの圧縮強度と弾性係数の関係

低品質骨材を含有するコンクリートの圧縮強度と弾性係数の関係は、次のような対数関数で近似することができる。なお、圧縮強度と弾性係数の関係は材令によらずほぼ一定である。

材令28日の場合：

$$E = -602740 + 169060 \ln \sigma_c \quad (5)$$

材令91日の場合：

$$E = -657430 + 179240 \ln \sigma_c \quad (6)$$

ここに、

E : 低品質骨材を含有するコンクリートの弾性係数(kgf/cm²)

σ_c : 低品質骨材を含有するコンクリートの圧縮強度(kgf/cm²)

④ 低品質骨材がコンクリートの破壊ひずみに及ぼす影響

低品質骨材の混入率の増加に伴って、コンクリートの破壊ひずみは単調に低下する。今回の試験結果によれば、コンクリートの破壊ひずみの低下率は次のようなべき乗関数で近似することができる。なお、低品質骨材の混入率を固定した場合、破壊ひずみ比は材令によらずほぼ一定である。

材令28日の場合：

$$\varepsilon_c / \varepsilon_{c0} = 1.375 \alpha^{-0.273} \quad (7)$$

材令91日の場合：

$$\varepsilon_c / \varepsilon_{c0} = 1.335 \alpha^{-0.234} \quad (8)$$

ここに、

ε_c : 低品質骨材を含有するコンクリートの破壊ひずみ

ε_{c0} : 低品質骨材を含有しないコンクリートの破壊ひずみ

α : 低品質骨材の混入率 (%)

⑤ 低品質骨材がコンクリートのポアソン比に及ぼす影響

低品質骨材の混入率の増加に対して、コンクリートのポアソン比はほとんど変わらない。

4.2 今後の課題

今回の試験では、低品質骨材の代用品としてウレタンゴムを用いて、骨材中に含まれる低品質骨材の混入率がコンクリートの強度、変形係数などの力学特性に及ぼす影響について検討した。その結果、低品質骨材がコンクリートの力学特性に及ぼす影響を定量的に評価することができた。しかし、今回の試験に用いたウレタンゴムと実際の低品質骨材とでは、その力学的性質に大きな差がある。そこで、今後、以下の点についてさらに検討が必要であると考えらる。

① 変形性の異なるウレタンゴムを低品質骨材として利用したコンクリートの強度試験

ウレタンゴムは、その物性が一定で、またその物性を容易に制御できるため、人工的な低品質骨材としてその利用価値が高い。今回の試験ではウレタンゴムの物性を一定として、骨材中に含まれる低品質骨材の混入率を変化させてコンクリートの力学特性を調査した。今後は、変形性が種々に異なるウレタンゴムを用いて試験を行い、低品質骨材の物性がコンクリートの力学特性に及ぼす影響を詳細に検討する必要がある。

② 実際の廃棄岩を低品質骨材として利用したコンクリートの強度試験

ウレタンゴムのようにその物性が安定した材料を用いた試験によって低品質骨材がコンクリートの力学特性に及ぼす影響が把握された後には、実際の低品質骨材を用いた試験が必要である。これには、実際の原石山で廃棄されている廃棄岩を用いた試験が有効である。

低品質骨材を含有したコンクリートの
強度、変形特性に関する実験的検討

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3194号
平成5年5月 (1993)

ダム構造研究室 室長 永山 功
主任研究員 渡辺 和夫
(前)部外研究員 向江 幸介

要 旨 : コンクリートダムの合理化の一つに材料利用の合理化がある。しかし、材料利用の合理化についてはいまだ十分な研究がなされているとはいえない。特に、近年、原石山の骨材の中で規格外の低品質骨材が大量に廃棄され、自然環境の保全、保護上の大きな問題となっている。本報告書は、低品質骨材の利用技術を開発するため、低品質骨材として人工材料であるウレタンゴムを粗骨材の一部に使用して、コンクリートの圧縮試験を行った結果をとりまとめたものである。

キーワード：低品質骨材、骨材、コンクリート、ダム、ウレタンゴム

○

郵便はがき

3 0 5 - □ □

切手をは
いて下さ
い。

建設省土木研究所

ダム部ダム構造研究室

御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

○

○

土木研究所資料第3194号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

土木研究所資料第3194号

○