

論文

[1107] 高強度コンクリートの圧縮性状に及ぼす供試体の高さ直径比の影響

野口 貴文*¹・友澤 史紀*²

1. はじめに

通常強度のコンクリートでは、供試体の高さ直径比（H/D）の減少にともない圧縮強度試験結果が増加することが知られており、JIS A 1107中に補正係数としてその影響が定量化されている。小阪・谷川は、圧縮強度 40MPaまでのコンクリートに対して圧縮強度試験を行い、圧縮強度の増大に伴い高さ直径比の影響は小さくなることを報告している [1]。しかしながら、圧縮強度 40MPa以上の高強度コンクリートに対する高さ直径比の影響に関しては不明な部分がまだ残されており、JIS A 1107の補正係数の適用性についても検討する必要がある。また通常強度のコンクリートでは、最大耐力以降、損傷の局所化とそれに伴う健全域の弾性除荷を生じるため、応力ひずみ曲線の下降域の形状が高さ直径比によって異なることが報告されている [2, 3, 4]。しかしながら、高強度コンクリートの応力ひずみ曲線に及ぼす高さ直径比の影響に関する検討例は少ない。

本研究では、供試体の高さ直径比が高強度コンクリートの圧縮強度および応力ひずみ曲線の形状に及ぼす影響を明らかにするために圧縮強度試験および有限要素解析を行った。また、高さ直径比が異なる場合の変形・ひずみの測定方法についても検討した。

2. 研究方法

2. 1 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表 1 に示す。供試体は直径 10cm の円柱であり、各強度レベルのコンクリートの調合を表 2 に示す。圧縮強度および応力ひずみ曲線は供試体端面と加圧板との摩擦に影響されるため、摩擦の有無を要因とし、摩擦ありの場合には供試体を直接鋼製加圧板に接触させ、摩擦なしの場合には供試体-加圧板間にグリース

表 1. 実験の要因・水準

要因	水準
高さ直径比	0.5, 1, 1.5, 2, 3
端面摩擦	鋼製加圧板, テフロシート
強度レベル	40, 80, 120 (MPa)

をはさんだテフロンシート(厚 0.1mm)を挿入して圧縮載荷した。供試体本数は各水準 3 本である。

2. 2 実験方法

全供試体の上端面には、標準水中養生期間中に機械研磨を施した。

圧縮載荷には、サーボ制御機能付き変形制御型超高剛性試験機（最大秤量 500t）を使用し、ひずみ速度が供試体の高さ直径比に関わらず毎分 200×10^{-6} 一定となるよう圧縮強度試験を行った。試験機付属の油圧計により荷重の検出を行い、差動トランスを用いて加圧板間変位を測定した。

表 2. コンクリートの調合

強度レベル	W/(C+Si)	水(kg/m ³)	セメント(kg/m ³)	シリカ(kg/m ³)	細骨材(kg/m ³)	粗骨材(kg/m ³)	圧縮強度(MPa)
40 MPa	5.5 %	170	309	-	817	1003	51.6
80 MPa	3.5 %	165	500	-	673	1003	93.3
120 MPa	2.5 %	160	576	64	597	1003	128.4

*1 東京大学助手 工学部建築学科, 工修(正会員)

*2 東京大学教授 工学部建築学科, 工博(正会員)

2. 3 有限要素解析

圧縮試験は一般的に供試体端面の横方向の変形が拘束された状態で行われる。そのため、高さ直径比が異なる供試体では端面の拘束効果の及ぶ範囲が異なるため、供試体の圧縮時の変形状態も異なり、ヤング係数は変形の測定方法に大きく依存することが考えられる。

本研究では、有限要素解析により変形の測定方法（加圧板間変位、ひずみゲージ）がヤング係数算出結果に及ぼす影響に関して検討した。検討対象の高さ直径比は、0.5、1 および 2 の 3 種類であり、供試体端面の拘束状態は、固定、自由および鋼製加圧板接触の 3 種類である。要素分割および境界条件の一例を図 1 に示す。

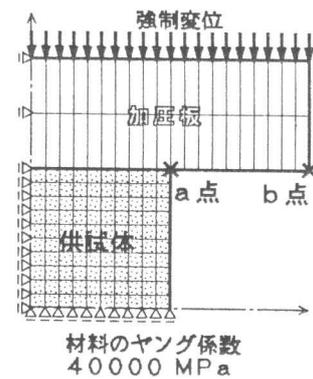


図 1. 要素分割例(H/D=1.0)

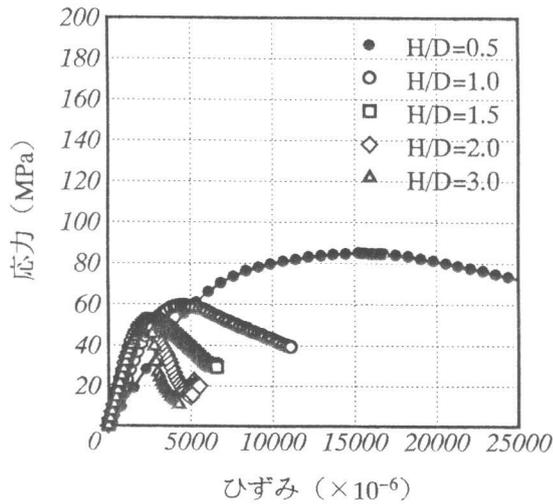
3. 研究結果および考察

3. 1 実験結果

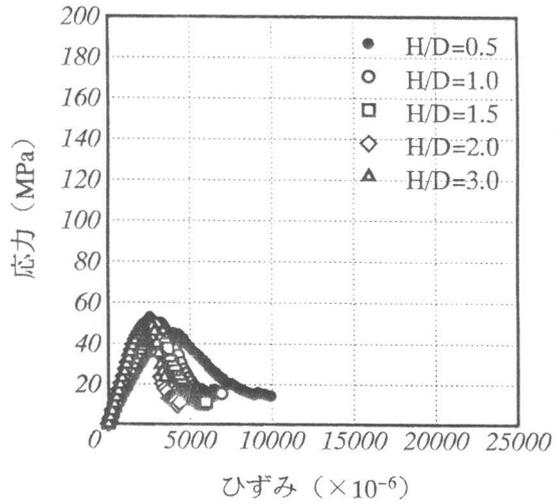
得られた応力ひずみ曲線を強度レベル、テフロンシートの有無に分類して図 2 (a)~(f) に示す。テフロンシートなしの場合にはいずれの強度レベルにおいても、供試体の高さ直径比の減少に伴い、応力ひずみ曲線は延性的な形状を顕著に示すようになる。すなわち圧縮強度時のひずみは増大し、下降域の勾配は緩やかになる。この高さ直径比の減少に伴う応力ひずみ曲線の延性化は、テフロンシートありの場合にはそれほど大きくなく、また高強度コンクリートほど小さくなる。

破壊形態に関しても、高さ直径比およびテフロンシートの有無の影響が認められた。テフロンシートなしの場合、高さ直径比が 1 以上の供試体では端面拘束効果により両端部が円錐形となる破壊形態を示したが、高さ直径比が 0.5 の供試体ではひびわれの数量は多くないが破壊は供試体全体に及んだ。一方、テフロンシートありの場合、高さ直径比が大きな供試体では一方の端部に割裂破壊が発生した後、ひびわれが載荷軸方向に進展し断面欠損が生じて一気に破壊に至ったが、高さ直径比が小さな供試体 (W/C=55% の場合には H/D=1 以下、W/C=25.35% の場合には H/D=0.5) では、供試体全体に載荷軸方向の割裂ひびわれが多数発生した後、徐々に破壊に至った。

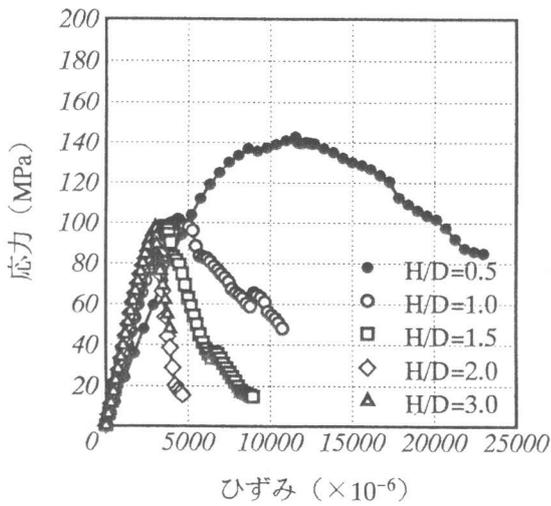
圧縮強度比 (H/D=2 の供試体の圧縮強度試験結果に対する比) に及ぼす高さ直径比の影響を図 3 に示す。なお図中には、JIS A 1107 の補正係数の逆数も示してある。高さ直径比が 2 以上の場合には、高さ直径比およびテフロンシートの有無の影響はほとんど認められなかったが、高さ直径比が 1.5 以下の範囲では、強度レベルに関わらず、テフロンシートなしの場合には圧縮強度試験結果は増加し、テフロンシートありの場合には逆に減少する結果となった。小坂・谷川らの研究 [1] および以前に実施した筆者らの実験結果 [5] では、テフロンシートなしの場合には、高強度コンクリートほど高さ直径比の減少に伴う圧縮強度試験結果の増加は小さいが、本実験の高さ直径比 1.5 の場合には逆の結果が得られた。また本実験では、高強度コンクリートほど高さ直径比の減少に伴い圧縮強度試験結果は直線的に増加する傾向を示した。この原因については、補正係数に対する再考も含めて、供試体の破壊メカニズムを考慮した更なる検討が必要であると考えられる。一方、テフロンシートありの場合における、高さ直径比の減少に伴う圧縮強度試験結果の減少は、供試体が割裂破壊に近い形態を示すことに起因しているものと考えられ、高強度コンクリートほど減少傾向が顕著である。したがって、高強度コンクリートでは、高さ直径比が 2 より小さいコンクリートで圧縮強度を求める場合に、テフロンシートなどを用いて供試体端面の摩擦をなくし、一軸圧縮状態で試験を行うことは不適切であると考えられる。



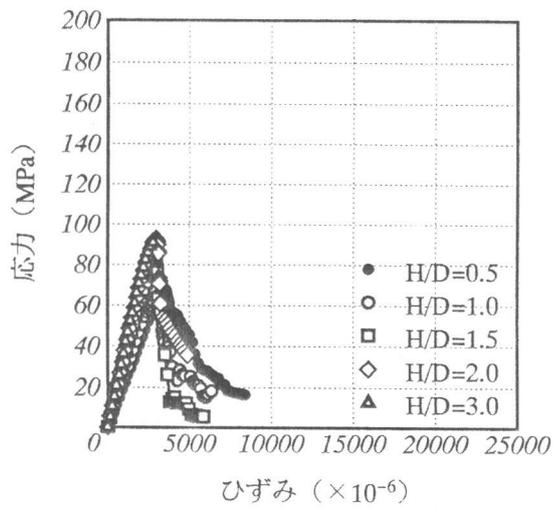
(a) W/C=55%, テフロンシートなし



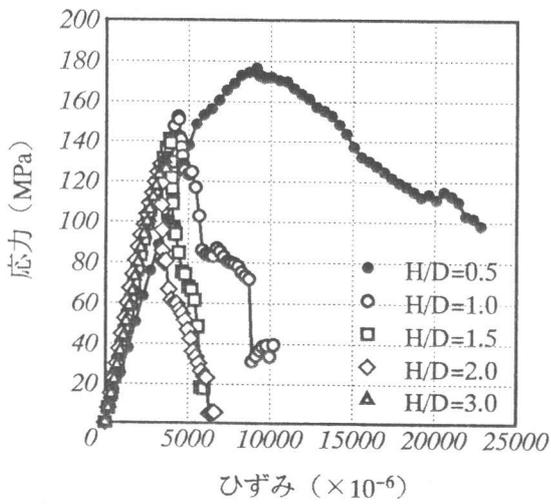
(b) W/C=55%, テフロンシートあり



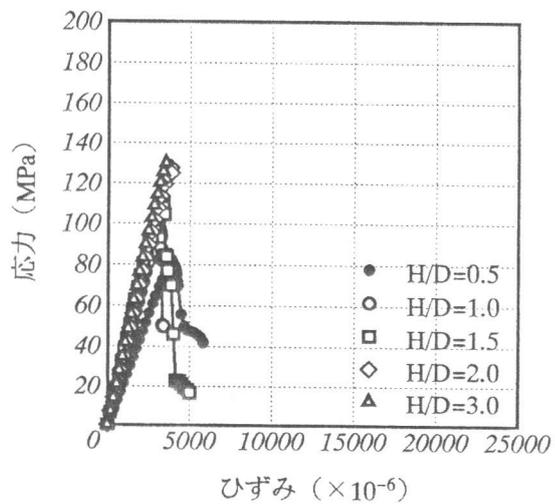
(c) W/C=35%, テフロンシートなし



(d) W/C=35%, テフロンシートあり



(e) W/C=25%, テフロンシートなし



(f) W/C=25%, テフロンシートあり

図2. 応力ひずみ曲線に及ぼす高さ直径比の影響

図4は圧縮強度の変動係数を示しており、高さ直径比が2より小さい範囲でテフロンシートを用いた場合、試験結果の変動は非常に大きくなった。したがって、試験結果の安定性の観点からも、圧縮試験におけるテフロンシートの使用は避けるべきであると考えられる。

図5はヤング係数の算定結果を示しており、高さ直径比が2より小さい場合にはすべて、高さ直径比の減少に伴いヤング係数も減少する結果となった。本結果は、既往の実験結果 [6]とは異なっており、その原因については有限要素解析結果を踏まえて後述する。

応力ひずみ曲線の下降域の勾配を図6に示す。高さ直径比の増加に伴い下降勾配は急になり、その傾向は高強度コンクリートほど、テフロンシートありの場合ほど顕著に現れている。

圧縮強度時のひずみおよび圧縮限界ひずみに及ぼす高さ直径比の影響を図7および図8に示す。ここで、圧縮限界ひずみとは、横軸と応力ひずみ曲線で囲まれた部分の面積をひずみで除した値が最大となる時のひずみである。テフロンシートなしの場合、高さ直径比の減少に伴い両ひずみはともに増大し、その傾向は強度レベルが低いほど顕著である。一方、テフロンシートありの場合、高さ直径比の減少に伴う両ひずみの増大は小さく、強度レベルによる差もほとんどない。

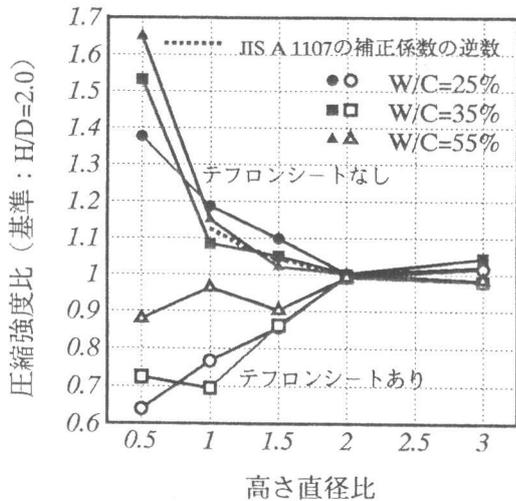


図3. 圧縮強度比に及ぼす高さ直径比の影響

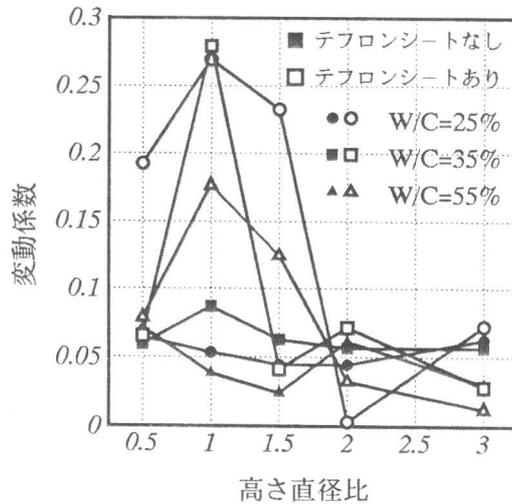


図4. 変動係数に及ぼす高さ直径比の影響

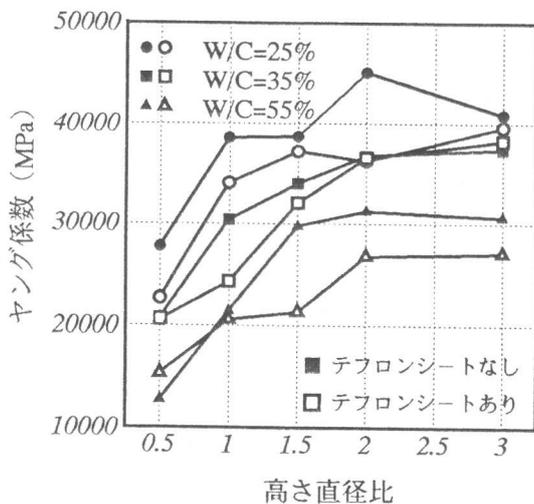


図5. ヤング係数に及ぼす高さ直径比の影響

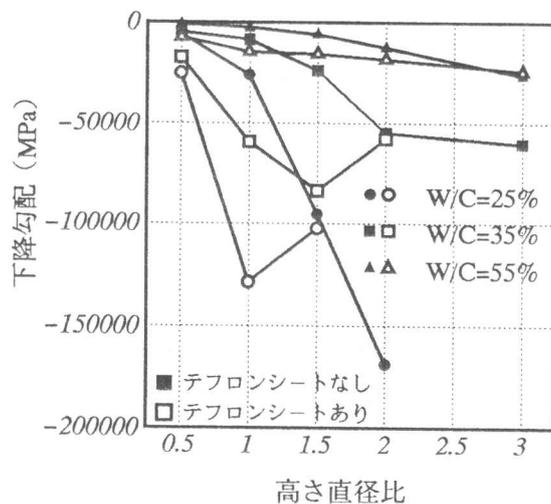


図6. 下降勾配に及ぼす高さ直径比の影響

3. 2有限要素解析結果

有限要素解析結果を図9(a)~(c)に示す。高さ直径比が2の場合にはヤング係数算定値はほぼ一定した値を示すが、高さ直径比が0.5および1の場合、供試体端面が完全に固定あるいは鋼製加圧板によりある程度拘束された条件下では、ひずみゲージによる測定間距離が長くなるほどヤング係数の算定値は減少する。また高さ直径比に関わらず、加圧板間変位により算定されるヤング係数は、ひずみゲージによる場合よりも小さい値を示す。これらの原因に関しては、測定間距離が供試体高さに近づくとつれ、端部の局部変形を測定しやすくなることが大きく影響している。また、ピア樽状に変形する場合には表面の変形は垂直方向の変形よりも小さいため、ひずみゲージによる測定値が小さくなることも関係していると考えられる。また、実際の圧縮試験では、ひずみゲージは供試体表面の変形に追随するため、剥離が生じると測定ひずみが小さくなるなど、ひずみゲージを用いた場合にヤング係数を高く算定する可能性があることが推測される。

また、鋼製加圧板の条件下で加圧板間変位を測定する場合には、ヤング係数の算定値は変位測定位置の影響を受け、測定位置が供試体から離れる(a点→b点)に従いヤング係数は低く算定される。また、高さ直径比の減少に伴いヤング係数算定値は低下しており、図5の現象が説明される。既往の実験[6]では、ひずみゲージにより供試体の変形を測定しているため、図9に示すように、高さ直径比の減少に伴いヤング係数算定値は増大する結果になったと考えられる。

図10に応力ひずみ曲線の形状に及ぼすひずみ測定方法の影響に関して行った確認実験の結果を示す。高さ直径比が2の場合には、加圧板間変位による結果とひずみゲージによる結果とはほぼ一致しているが、高さ直径比が小さくなるに伴い、ひずみゲージから算出されるひずみよりも加圧板間変位から算出されるひずみの方が大きくなるという有限要素解析と同一の結果が得られた。

4. まとめ

- (1) 高強度コンクリートでは、圧縮強度試験結果に及ぼす供試体の高さ直径比の影響は、通常強度のコンクリートと比較して小さい傾向にあり、その原因については供試体の力学的均質性を考慮した破壊メカニズムに関する検討が必要であり、JIS A 1107の補正係数も再考を要する。
- (2) 高強度コンクリートでは、テフロンシートなどを用いて供試体端面の摩擦をなくし、一軸圧縮状態で圧縮試験を行うことは、強度低下および変動の増加を招くため不適切である。

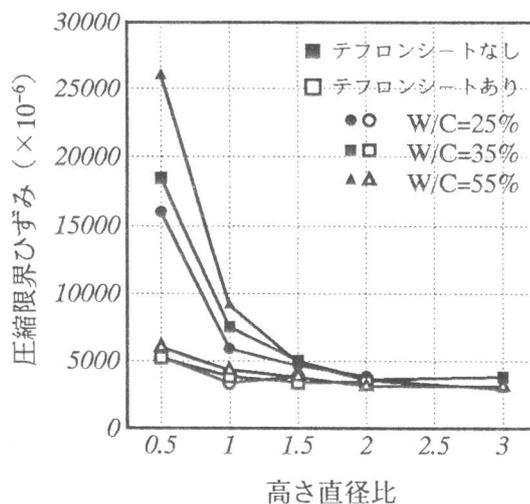
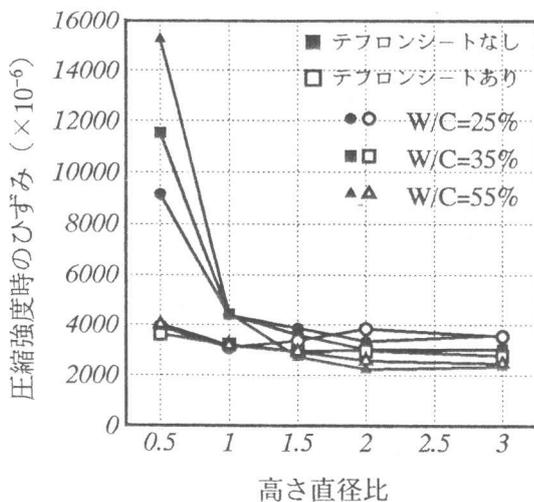


図7. 強度時のひずみに及ぼす高さ直径比の影響 図8. 圧縮限界ひずみに及ぼす高さ直径比の影響

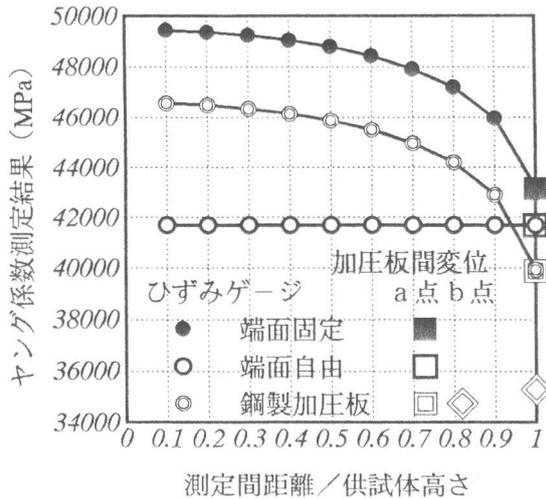


図9(a). ヤング係数の算定結果 (FEM:H/D=0.5)

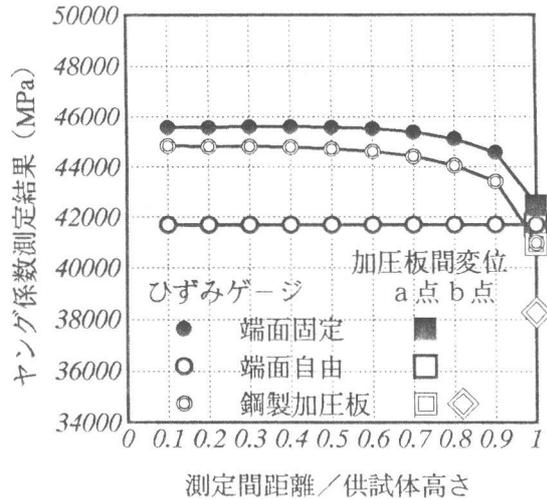


図9(b). ヤング係数の算定結果 (FEM:H/D=1.0)

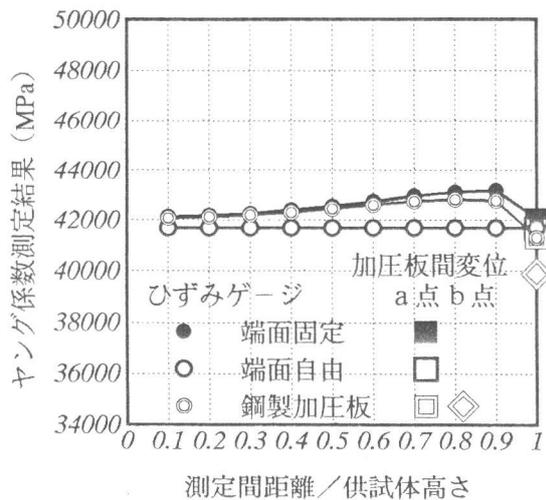


図9(c). ヤング係数の算定結果 (FEM:H/D=2.0)

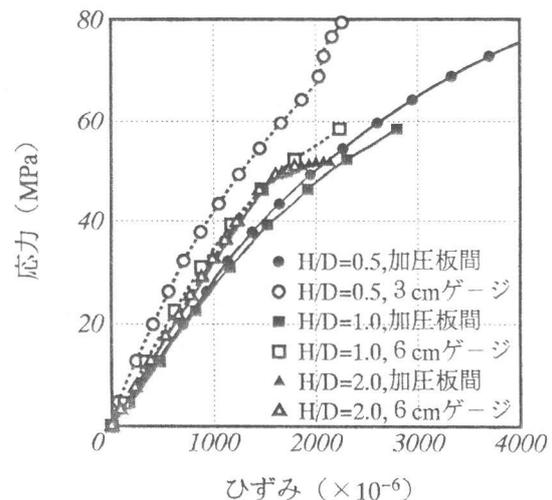


図10. 応力ひずみ曲線に及ぼす測定方法の影響

- (3) 高さ直径比が2未満の供試体を用いてヤング係数を測定する際、加圧板間変位の測定値から供試体のひずみを算出する場合、測定方法・位置によってはひずみが過大に算出されることがあるため、ひずみの測定方法および測定位置には注意を要する。
- (4) 高強度コンクリートの圧縮強度試験用供試体の高さ直径比は、試験結果の安定性、供試体の応力状態、測定位置に対するひずみ測定値の不変性などの観点から、現行通り2が適切である。

謝辞 試験機をご配慮頂きました建築研究所榊田室長・杉山研究員ならびに東洋建設安田正雪氏に心より感謝致します。

参考文献

- 1)小阪義夫, 谷川恭雄: 各種骨材コンクリートの圧縮強度に及ぼす試験体寸法と載荷面の摩擦の影響について, セメント・コンクリート, No. 265, pp. 2~10, 1969. 3
- 2)小柳 治, 六郷恵哲, 内田裕市: コンクリートの圧縮靱性, セメント技術年報, 37, pp. 268~271, 1983
- 3)小阪義夫, 谷川恭雄, 畑中重光: 低側圧三軸圧縮下のコンクリートの塑性変形挙動, 材料, 第34巻, 第376号, pp. 19~25, 1985. 1
- 4)Bazant, Z.P.: IDENTIFICATION OF STRAIN-SOFTENING CONSTITUTIVE RELATION FROM UNIAXIAL TESTS BY SERIES COUPLING MODEL FOR LOCALIZATION, CEMENT and CONCRETE RESEARCH, Vol.19, No.6, pp.973~977, 1989
- 5)友澤史紀ほか: 高強度コンクリートの圧縮強度試験方法の標準化に関する研究(その3 供試体の細長比の影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集A, pp. 509~510, 1989. 10
- 6)友澤史紀ほか: 高さ直径比が2以下の供試体による圧縮強度および静弾性係数の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集A, pp. 199~200, 1985. 10