

論文

[1017] コンクリートの諸性質に及ぼす圧密の影響

正会員 渡澤 正典 (日本大学工学部)

1. はじめに

現在、鉄筋コンクリート構造物は、コンクリート断面が一様な性質を持つという仮定のもとに建設されている。しかし、コンクリートは、打込み後の気象条件、型枠脱型後の水分散逸、自重差などで、一部材内でも部分的にその性質は異なると考えられる。一方、鉄筋コンクリート造による30階建の高層建築物がわが国でも建設されるようになり、これまでにない高度な品質と打設コンクリートのよりくわしい諸性質を知る必要が生じている。

そこで、筆者は、模型の柱状コンクリート試験体について、圧密力の測定、切り取りコア供試体の圧縮試験、細孔分布の測定および中性化促進試験を行ない、圧密力が他の諸性質に及ぼす影響について検討を行なった。圧密力の分布、コア切り取りの方向、位置および部位の相違による強度分布の報告は、既往の文献にもみられる。しかし、圧密力および細孔分布から、実大の構造物に比較的近い模型の柱状コンクリート試験体の、強度分布および中性化進行深さを検討した報告は少ない。また、切り取りコア供試体と母体となる試験体との強度比較の報告例も少ない。ここでは、主に、その両者についての検討結果を報告するものである。

2. 使用材料

コンクリート：コンクリートは、 $F_c=180 \text{ kgf/cm}^2$ レデーミクストコンクリートを使用した。細骨材は、阿武隈川産川砂、比重2.60、粗粒率2.80、粗骨材は、同・川砂利、比重2.60、粗粒率7.07である。セメントは、S社製、比重3.15である。その調査を表1に示す。

表1 レデーミクストコンクリートの調査

骨材の最大寸法 (mm)	スラブ (cm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	重量 (kg/m ³)		
					C	S	G
25	18	58	48.8	177	305	908	954

3. 試験方法

(1) 圧密力の測定：図1(a)に示す柱状コンクリート試験体内部の所定の位置に、埋込み型ひずみゲージ (Type;KM100) を埋設し、コンクリート打込み終了時のひずみ量を測定した。そして、あらかじめ予備試験で求めた各ひずみゲージの重量-ひずみ量の関係をもとに、各々の埋設位置におけるひずみ量をコンクリート重量に換算し、圧密力として求めた。また、型枠内部のひずみゲージの取付け方法は、図2に示す通りである。なお、打込みは、コンクリートが埋込みゲージに直接落下しないように注意し、さらに、4層に分けてバイブレーターで十分締固

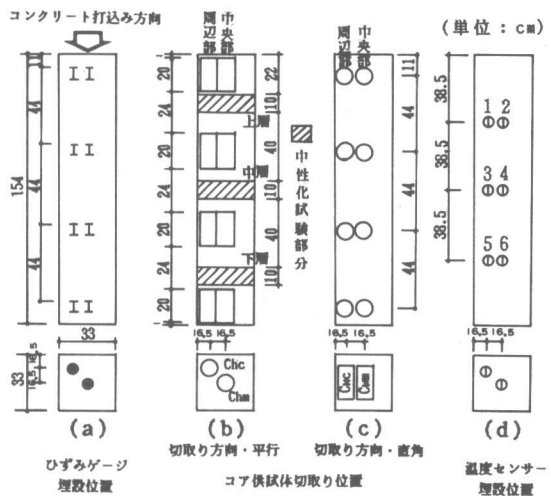


図1 ひずみゲージ・温度センサー埋設位置およびコア供試体切り取り位置

めながら行なった。(2) コア供試体の切取りおよび圧縮試験：コア供試体（記号；C）は、コンクリート打設後、24時間実験室内放置、脱型した後、20+2℃、55% R. H. の恒温恒湿室で材令28日まで養生した柱状コンクリート試験体（記号；P）から、図1 (b) および (c) に示す位置よりコンクリートコアドリルを用いてφ10×20cmのシリンダー型供試体を切取った。その後、コア供試体の上下面を硫黄キャッピングし、JIS A 1108 に準じて圧縮試験を行なった。試験時の材令は32日、供試体本数は各3本である。また、比較用として、空中（記号；Sa）および水中（同；Sw）供試体を作製した。なお、Sa の養生条件はPと同様、Sw は20+2℃

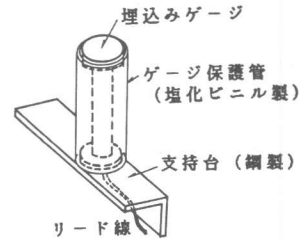
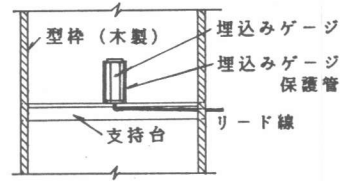


図2 埋込みゲージの取付け方法

水中養生である。(3) 細孔分布の測定：供試体のモルタル部分の細孔分布測定は、圧縮試験後の供試体を粉碎し、抽出した2.5～5mm 大の試料

表2 まだ固まらないコンクリートの性質

スランブ (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/l)	コンクリート温度 (°c)
19.4	1.1	2.34	23.2

をアセトンで洗浄した後、105℃で24時間乾燥させ、水銀圧入式ポロシメーターで行なった。ポロシメーターの水銀の圧力は常圧から2000気圧、細孔の測定範囲は半径37.5～75000Å である。(4) 中性化促進試験：図1 (b) に示す位置から切り出したコンクリート片について、二酸化炭素環境試験槽（A社製、C10632H型）で促進試験を行なった。試験条件は、CO₂ 濃度5%、温度30℃、湿度60% R. H. である。中性化深さの測定は材軸方向に平行に型枠と接していた面について、フェノールフタレン1%アルコール溶液を塗布して赤変した部分について行なった。試験材令は112日までである。なお、

表3 試験結果

種別	切取り方向	切取り位置	切取り部位	記号	圧縮強度 (kgf/cm ²)	単位容積質量 (kg/l)	総細孔量 (ml/g)	
切取りコア	平	中央部	上段	Chm1	296	2.23	0.101441	
			中上段	Chm2	312	2.22	0.101292	
			中下段	Chm3	325	2.24	0.094815	
			下段	Chm4	341	2.25	0.091651	
	周辺部	上段	Chc1	243	2.22	0.104020		
		中上段	Chc2	266	2.23	0.102937		
		中下段	Chc3	275	2.24	0.101248		
		下段	Chc4	282	2.24	0.094690		
コア供試体	直	中央部	上段	Cwm1	263	2.22	—	
			中上段	Cwm2	265	2.22	—	
			中下段	Cwm3	289	2.24	—	
			下段	Cwm4	310	2.24	—	
	角	周辺部	上段	Cwc1	232	2.21	—	
			中上段	Cwc2	265	2.22	—	
			中下段	Cwc3	278	2.22	—	
			下段	Cwc4	326	2.23	—	
柱状試験体					P	247	—	—
空中養生供試体					Sa	236	2.19	0.116187
水中養生供試体					Sw	282	2.34	0.109251

注1) コンクリート打込み方向に対する切取り方向をいう。

測定面以外のすべての面には、パラフィンを塗布した。(5) 柱状コンクリート試験体の圧縮試験：コンクリート打設、養生等の手順および条件は、切取りコア供試体と同様である。圧縮試験は、ひょう量 300t のアムスラー型一軸圧縮試験機で行なった。この場合も試験材令は32日、試験本数は3本である。なお、柱状コンクリート試験体の内部温度測定のために、図1 (d) に示す位置に熱電対温度センサーを埋設した。その測定期間は、コンクリート打設終了時から材

令28日までである。

4. 試験結果

試験結果は、表2および3、図3～9に示す通りである。

5. 考察

まだ固まらないコンクリートの性質：表2によれば、まだ固まらないコンクリートの性質は、ほぼ調合計画を満足する。単位容積質量から求めたその比重は、約2.34である。

圧密力について：図3によれば、中央部、周辺部のいずれの圧密力も試験体上面から深くなるほど増大する。そして、まだ固まらないコンクリートの比重を2.34として計算で求めた圧密力と比較すると、いずれの深さにおいても実測値は計算値を上回る。この実測値が計算値を上回る理由は、まだ固まらないコンクリートの粘性のため、測定される圧密力がひずみゲージの加力受板の投影面積内にとどまらず、放射状に広がる投影面積外の圧密力も加わるためと考えられる。なお、計算値に対する実測値の増大量を同図に示す実験式から求め、試験体上面からの深さの順に列挙すれば、中央部では0.07, 0.09, 0.12, 0.14 kgf/cm², 周辺部では、0.06, 0.05, 0.05, 0.05 kgf/cm²である。また、中央部の圧密力は、周辺部のそれよりも大きい。同様に、実験式から求めた両者の差は、試験体上面からの深さによって異なるが、平均21%中央部が周辺部のそれを上回る。この理由は、周辺部では、コンクリートと型枠との摩擦のため、圧密力が軽減されるからと考えられる。

総細孔量について：図4(A)に切り取り方向・平行のコア供試体より測定した細孔の総細孔容積比を示す。同図によれば、総細孔容積比は、中央部、周辺部のいずれにおいても下層になるほど減少する。また、中央部のそれは、いずれの切り取り部位においても周辺部のそれより小さい。この理由としては、前述した圧密力の差異が一因と考えられる。細孔分布について：図5(A)～(D)は、同一切り取り部位における中央部と周辺部との比較である。同図によれば、いずれの部位においても、中央部の細孔分布は周辺

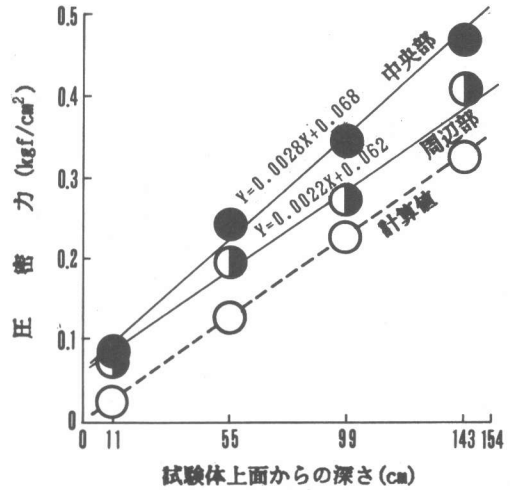


図3 試験体上面からの深さと圧密力

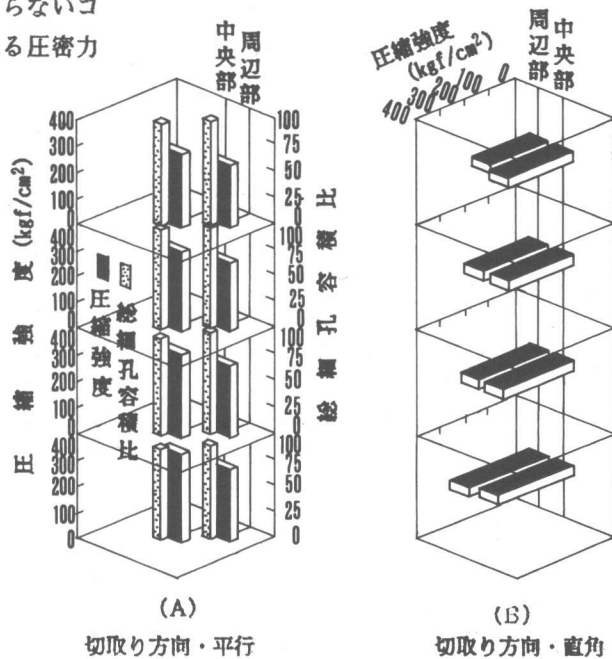


図4 切り取り供試体の圧縮強度および総細孔容積比

部よりも細孔半径の小さい方への片寄りが多い。特に、一部例外はみられるものの、細孔半径5000Å以下の細孔でそれは顕著である。また、図5(E)および(F)は、切り取り位置が同じ場合の上段と下段の細孔分布の相違を示したものである。これらによれば、中央部、周辺部いずれにおいても、下段の細孔分布は上段のそれより細孔の小さい方への片寄りが多い。このことは、総細孔量の項で前述したと同様に圧密力の差異がその一因と思われ、総細孔量と共に圧密力に対応するものである。その他の変動要因としては、試験体内部の温

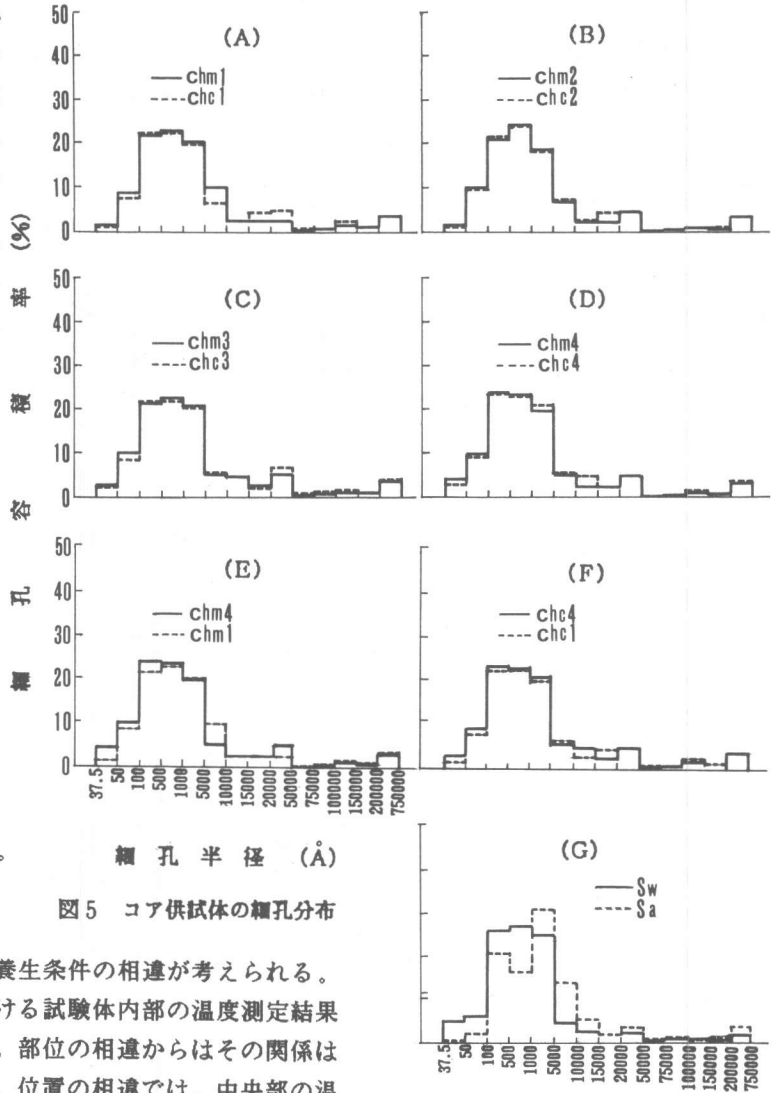


図5 コア供試体の細孔分布

度および湿度差などの養生条件の相違が考えられる。図6は、材令初期における試験体内部の温度測定結果である。同図によれば、部位の相違からはその関係は明らかとは言えないが、位置の相違では、中央部の温度は周辺部より高いことが知られる。また、コンクリートの内部湿度分布は、コンクリート表面からの位置によって異なると言われることからも、中央部と周辺部とでは乾湿の差があると推察される。これら温度および湿度差が水和の進行速度および程度に影響を及ぼし、細孔分布に相違をもたらす一因になったと考えられる。また、図5(G)は、比較用として作製した水中および空中養生供試体の細孔分布を示したものである。それによれば、水中養生供試体の5000Å

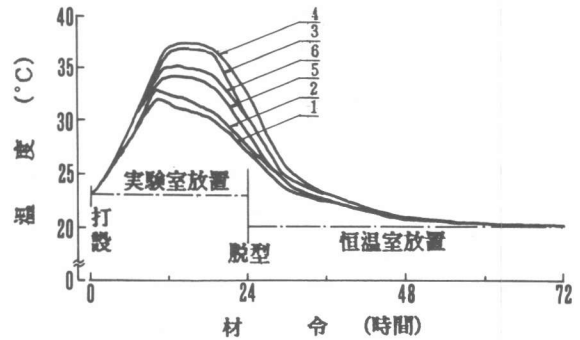


図6 コンクリートの内部温度

以下の細孔量は、空中養生供試体に比べて多い。この事からも養生条件の相違がコンクリートの細孔分布に及ぼす影響がうかがえる。

切取りコアの圧縮強度について：図4(A)によれば、切取りコア供試体の圧縮強度は、切取り方向・平行において、中央部および周辺部のいずれも下になるほど高くなる傾向がみられる。今、上段の強度を100とすると、それ以下の各段の強度比は、中央部で105, 110, 115, 周辺部で109, 113, 116

である。また、図4(B)によれば、切取り方向・直角においても、中央部、周辺部の強度はいずれも下になるほど高くなり、その傾向は平行方向と同様である。強度比を平行方向と同様に求めれば、中央部で101, 110, 118, 周辺部で114, 120, 141である。これら下段になるほど強度が増大する傾向は、既往の文献にもみられ、圧密力および総細孔量の示す傾向に対応するものである。今、切取り方向・平行について、試験体上面からの深さが変わる場合の圧密力および圧縮強度の増加量を図3および7に示す実験式から求めると、中央部では、深さが1cm下がると

に圧密力は約0.0030kgf/cm²、圧縮強度は約0.33kgf/cm²、周辺部では同様に約0.0022kgf/cm²および0.37kgf/cm²である。次に、切取り方向が異なる場合の比較では、切取り方向・直角の周辺部の一部を除くすべてにおいて、切取り方向・平行の強度が直角のそれを上回る。その強度差を中央部について求めれば、切取り方向・平行の強度は直角の強度を平均37kgf/cm²、約13%上回る。筆者の行なった角柱供試体による確認試験においても同様の傾向が得られ、それを示せば図8の通りである。同図によれば、コンクリート打込み方向と載荷方向が平行の場合の圧縮強度は、直角のそれに比べ約5%強度が上回る。また、このことは、既往の文献⁶⁾にもみられ、この現象の起こる原因としてコンクリートの材料分離、沈降、ブリージング等によって生じる骨材下面の欠陥部分への力の作用方向が異なることが考えられる。中性化進行深さについて：図9に材令112日迄の中性化進行深さを示す。同図によれば、上層の中性化進行深さは、中層および下層のそれを上回る。中層および下層の中性化はほぼ同様である。また、鉄筋コンクリート構造における柱などの鉄筋に対するコンクリートのカブリ厚さの最小値30mmに達する材令は、上層においては約70日、中、下層においてはそれより約14日遅れることが知られる。

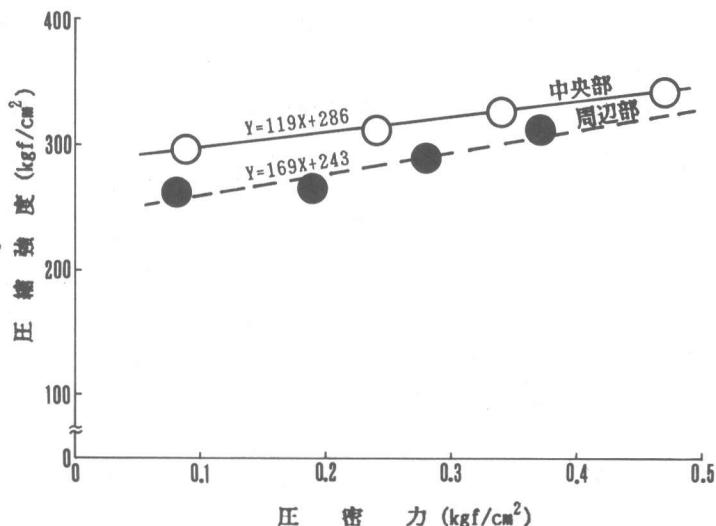


図7 圧密力とコア供試体の圧縮強度

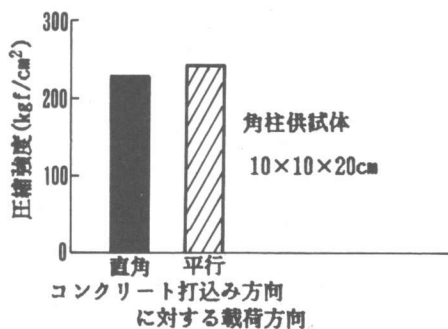


図8 コンクリート打込み方向に対する載荷方向と圧縮強度

この事を圧密力から検討すると、上層においては中性化進行速度に及ぼす圧密力の影響がみられる。しかし、中層および下層では上層ほどの影響はみられない。柱状試験体の圧縮強度について：表3によれば、柱状試験体の圧縮強度は、試験体3本の平均で 247kgf/cm^2 ある。この値は、切取り方向・平行および直角の周辺部・上段の切取りコア供試体強度とほぼ同じである。それ以外のすべての切取り

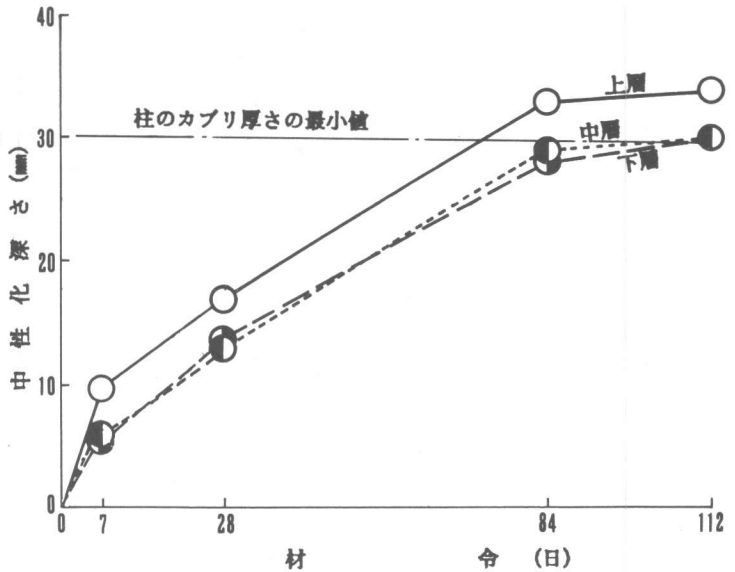


図9 材令と中性化深さ

状試験体の強度は下回る。そして、空中養生供試体の強度に近い値を示す。しかし、水中養生供試体に対しては、強度は大きく下回る。これらの事より、構造体コンクリートの強度推定用コア供試体の切取りに際しては、切取り位置および部位によって適切な強度評価が得られないことも考えられることから、その選定には十分な配慮が必要と思われる。

6. まとめ

(1) 圧密力は、中央部、周辺部のいずれも下層になるほど増大する。また、中央部の圧密力は、周辺部のそれを平均21%上回る。(2) 切取りコアの総細孔容積比は、中央部、周辺部のいずれも下層になるほど減少する。また、中央部の総細孔容積比は、周辺部のそれより小さい。(3) 切取りコアの細孔分布は、いずれの部位においても、中央部が周辺部よりも細孔半径の小さい方への片寄りが多い。特に、細孔半径 5000\AA 以下の細孔にそれがみられる。また、切取り位置が同じ場合、下段の細孔分布は上段のそれより、小さい方への片寄りが多い。(4) 切取りコアの圧縮強度は、切取り方向・平行において、中央部、周辺部のいずれも下になるほど高くなる。また、切取り方向・直角においても、平行の場合と同じである。この傾向は、圧密力および総細孔量の示す傾向に対応する。試験体上面からの深さが変わる場合の圧密力および圧縮強度の増加量は、深さが1 cm下がるごとに中央部では圧密力が約 0.0030kgf/cm^2 、圧縮強度は約 0.33kgf/cm^2 、周辺部では同様に 0.0022kgf/cm^2 および 0.37kgf/cm^2 である。切取り方向・平行のコア供試体強度は、一部を除き直角のそれをすべて上回る。(5) 上層の中性化進行深さは、中層および下層のそれを上回る。中層および下層の中性化進行深さはほぼ同様である。(6) 柱状試験体の圧縮強度は、 247kgf/cm^2 で、切取り方向・平行および直角の周辺部・上段の切取りコア供試体強度とほぼ同じ値である。

参考文献

- 1) 高橋ほか、"構造体コンクリートの強度管理に関する研究(その1~6)", 日本建築学会大会学術講演梗概集, Oct, 1977
- 2) 高橋ほか、"構造体コンクリートの強度管理に関する研究(その6~11)", 日本建築学会大会学術講演梗概集, Sept, 1978
- 3) 毛見ほか、"比較的マシなコンクリート構造体の強度分布", 日本建築学会大会学術講演梗概集, Oct, 1978
- 4) 小阪ほか、"構造体コンクリートの部分的非均質性に関する実験的研究(その1~2)", 日本建築学会大会学術講演梗概集, Oct, 1987
- 5) 地産ほか、"コンクリート表層部その養生条件と細孔構造", セメントコンクリート, No. 468, Feb, 1986, p. 11
- 6) セメント協会コンクリート専門委員会、"コア供試体の圧縮強度に及ぼす各種試験要因の影響", セメントコンクリート, No. 483, May, 1987, p. 60