

構造物躯体コンクリートの強度管理に関する研究（その6）

——含水率と強度との関係——

SCCS 研究グループ

Strength Control of Concrete in Structures (Part 6)

——Relation Between Strength and Moisture Content of Concrete——

SCCS Research Group

Abstract

This report is devoted to an explanation of moisture content influencing strength development. Three types of specimens were cured in air at constant conditions of $20 \pm 3^\circ\text{C}$ and $50 \pm 10\%$ R. H. The authors measured moisture contents by the electrode method up to one-year age, and studies were made of the relation between concrete strength and moisture content.

As a result, it was recognized that considerable differences existed in time-dependent variations in moisture contents. It was also clarified that there is a close correlation between moisture content distributions of specimen cross sections and strength distributions, and that moisture content in concrete greatly influences strength gain.

概 要

構造物コンクリートの強度発現に影響を与える要因の内、本報告では、コンクリート中の含水率が強度に与える効果について検討した。

寸法の異なる3種類の試験体を温度 $20 \pm 3.0^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 10\%$ RH の気体養生とし、断面内の含水率の分布を電極法により材令1年まで経時的に求め、試験体各部の強度と含水率および含水率の積算値上の関係を調べた。その結果、含水率の経時変化は各試験体間でかなり特徴的な差が認められ、また試験体断面の含水率の分布と強度分布との相関は高く、コンクリート中の含水率が強度発現に大きく影響し得ることが判明した。

1. まえがき

構造物コンクリートの強度発現の構成要因の内、本報告では、断面寸法の異なる試験体を用いて、コンクリート中の含水率（コンクリート単位体積中に含まれる自由水の割合、 θ/vol ）が強度発現に及ぼす影響について検討した。

検討の結果、各試験体の含水率の経時変化にはかなり特徴的な差が認められ、強度と含水率との相関はかなり高いことが判明した。

2. 実験の概要

2.1. 使用したコンクリート

使用したコンクリートは、設計基準強度 $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ($W/C = 65\%$)、スランプ 18 cm（常用）の川砂、川

砂利使用の普通コンクリートで、調合は表-1に示す通りである。

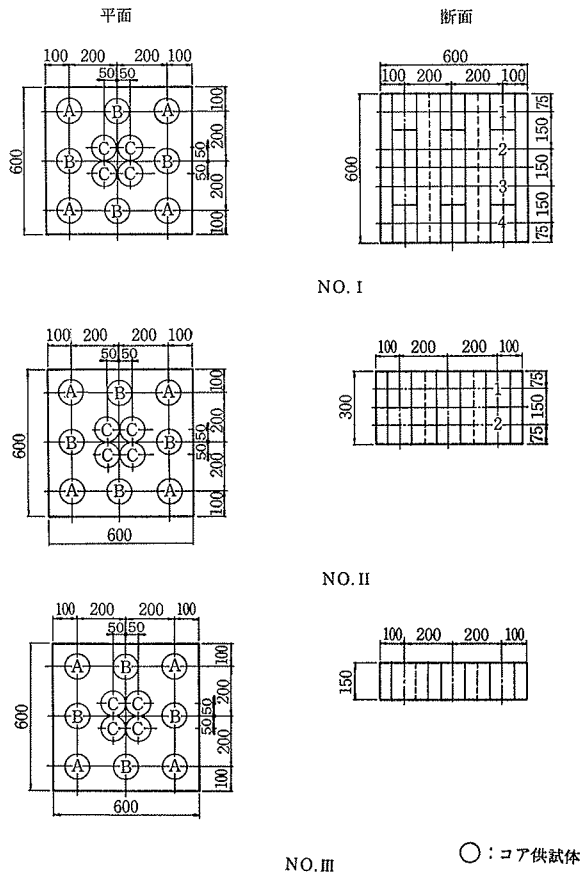
粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スランプ (cm)		空気量 (%)		水セメント 比 ($\frac{w}{c}$)	細骨材 率 (%)	単位 水量 ($\frac{kg}{m^3}$)	絶対容積 ($\frac{\ell}{m^3}$)			重 量 ($\frac{kg}{m^3}$)			表面活 性剤の 使用量 ($\frac{g}{m^3}$)
	所 要	指 定	所 要	指 定				セ メ ン ト	細 骨 材	粗 骨 材	セ メ ン ト	細 骨 材	粗 骨 材	
20	—	18	—	4.0	65.0	47.0	180	88.2	329.8	373.1	277	851	985	1.108

使用材料 ●細骨材：鬼怒川・秩父産の混合
最大寸法：2.5mm、表乾比重：2.58、FM：2.64
●粗骨材：秩父、青梅産の混合
最大寸法：20mm、表乾比重：2.64、FM：6.67

表-1 コンクリートの調合表

2.2. 試験体の種類および寸法

試験体は、図-1に示すような断面寸法の異なる、3種類の形状寸法のものを用いた。また乾燥条件は6面乾燥とした。



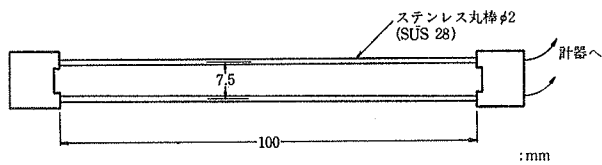
図一 各試験体の形状寸法およびコア供試体の採取位置

2.3. 養生方法

成型後の試験体の養生は、温度 $20 \pm 3.0^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 10\%$ の恒温恒湿室で行なった。

2.4. コンクリート中の含水率の測定方法

コンクリート中の含水率の測定には、参考文献1に示されている、電極法を用いた。すなわち図一2に示す電極をコンクリート中に埋設し、電極間の抵抗、および熱



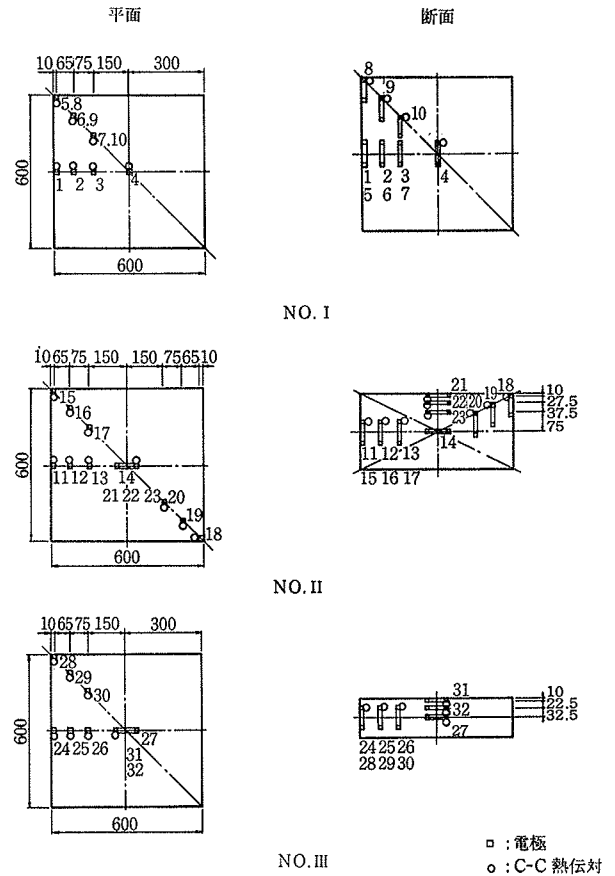
図二 電極の形状寸法

電対による温度の測定値から、あらかじめ作成した校正曲線より含水率を求める方法である。

電極の埋設位置は、図一3に示すように、断面の含水率の分布が求められるようにした。

2.5. 強度試験の方法

各試験体の強度は、コア供試体により確認した。コア供試体の寸法は、10 (直径) \times 15 (長さ) cm とし、そ



図三 電極の埋設位置

の採取位置は、含水率に差が生ずると思われる部分についてA, B, Cの3グループに分け、さらに形状寸法の大きいI, II試験体については、同一グループについて、それぞれ上(1), 中上(2), 中下(3), 下(4) (I試験体) および上(1), 下(2) (II試験体) に分割してコア供試体を採取した。その詳細は前述の図一に併記した通りである。

3. 実験結果と考察

3.1. 打込時のコンクリートの性状

表一2に打込時のコンクリートの性状を示したが、実験に際しては、ほぼ所要の品質のコンクリートを用いることができた。

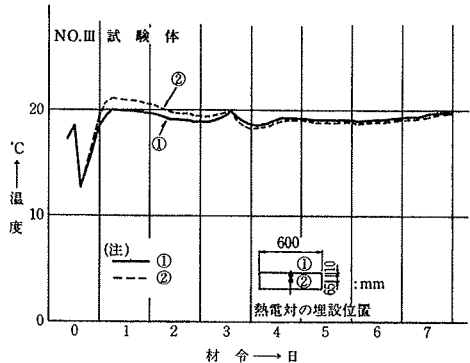
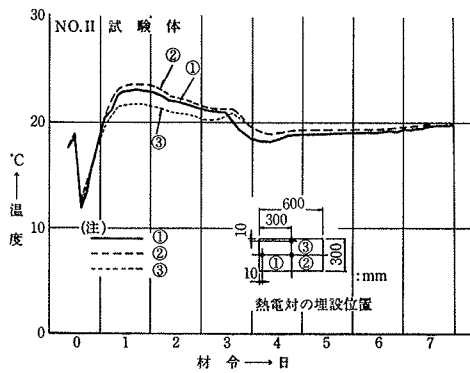
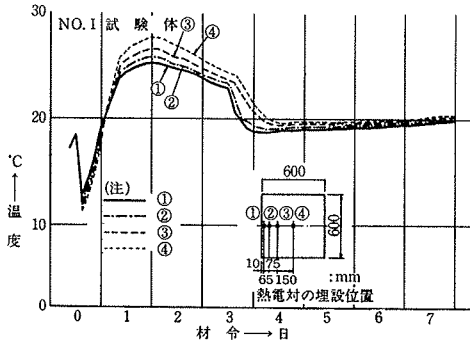
項目	スランプ (cm)	フロー (cm \times cm)	コンクリート温度 ($^\circ\text{C}$)	空気量 (%)	単位容積重量 (kg/ ℓ)
測定値	19.1	2.98 \times 31.6	11.4	3.9	2.239

表一2 打込時のコンクリートの性状

3.2. 各試験体の打込後の温度履歴

各試験体の打込後の温度履歴は図一4に示す通りである。これによると、各試験体とも成型後1~2日で最高温度に達し、材令3日ではほぼ室温に近い状態で定常に達した。また極端な温度上昇は認められず、最高温度は厚

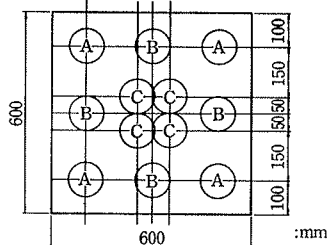
みの大きい No. I 試験体が最大で、厚みの小さい No. III 試験体が最小であるが、顕著な差ではなく、強度試験時の積算温度も表一3に示す通り、各試験体間ではほぼ同一の値となっているため、今回の実験条件の範囲では、試験体の温度履歴が強度試験の結果に大きな影響を与えていないと思われる。



図一4 各試験体の温度履歴

試験体	コアの採取場所の位置	材令 28 日		
		A	B	C
I	①*	830.7	850.4	850.4
	②*	850.4	850.4	856.7
II	—	844.4	844.4	844.4
III	—	836.4	839.7	834.9
10ゲージ供試体	—	835.7		

(注) コアの位置および採取場所は下図の通り



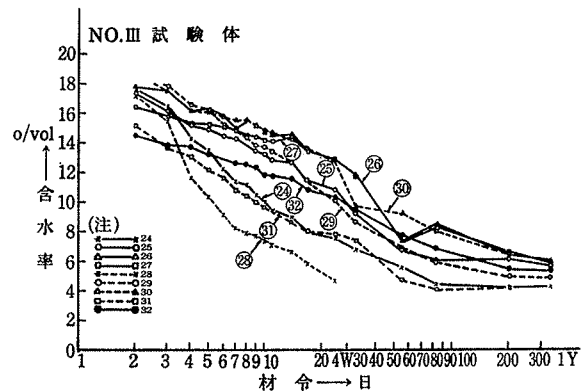
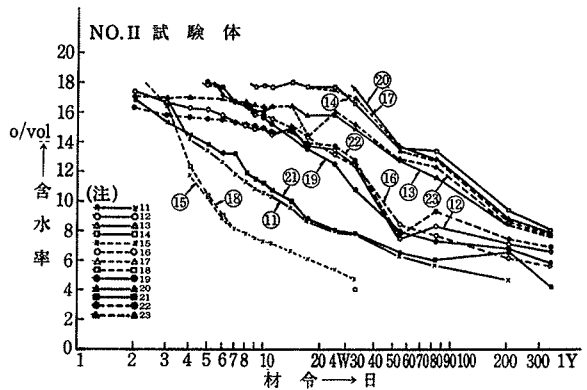
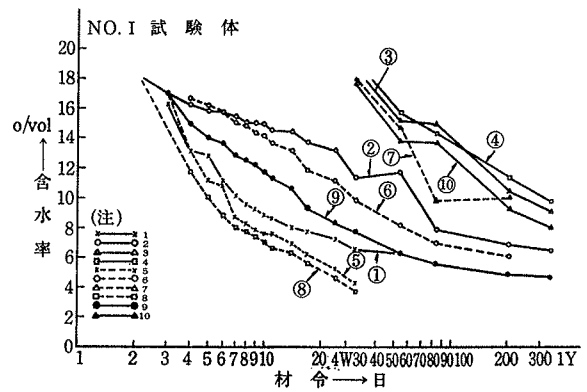
①*……図1の1, および4, 供試体
②*……" 2, および3, "

表一3 積算温度の実測値 (°D D)

3.3. 含水率の経時変化

電極法によって求めた各試験体の含水率の経時変化を

図一5に示す。これによると、材令の経過に伴う各測点の含水率の減少は、各試験体とも表層部分が急速に進み、内部になるほど緩慢に進行する。特に厚みの大きい No. I 試験体では、材令28日頃まで内部は飽水状態に近く、以後乾燥が進む傾向があり、表層部分と内部の含水率の差の大きいことがわかる。一方厚みの小さい No. III 試験体では、中心部においても初期材令の時点から乾燥が進行し、内部と表層部分では、No. I, II 試験体ほど差がなく、材令1年を経た時点で、内部と表層部分との含水率の差は2°/vol程度であった。また No. II 試験体は厚みが No. I 試験体の1/2であるにもかかわらず、試験体中心部の含水率の減少が、No. I 試験体と同様緩慢であることは、部材厚がある一定限度以上になると乾燥が進みにくいことを示している。



図一5 各試験体の含水率の経時変化

3.4. 強度試験の結果および含水率と強度との関係

強度試験は材令28日と一年で行ない、各試験体におけるA, B, C各グループの強度、強度試験時の含水率および下式で定義した強度試験時までの含水率の積算値(積算含水率)を表-4に示した。

$$\text{積算含水率}(P) = \sum_{i=1}^n \phi_i$$

ここに、i: 日, n: 強度試験時材令

ϕ_i : 材令 i 日における含水率 (°/vol)

これより、各試験体の平均強度は、材令28日では、No. I, IIがほぼ同一値で、No. IIIが約 20 kg/cm² 小

一致していることがわかる。

さらに含水率と強度との定量的な関係を検討するため、表-4に示す試験体各部の強度と、強度試験時の含水率および強度試験時までの含水率の積算値との単相関を示したのが図-8および9であるが、これによると、強度試験時の含水率と強度との関係については材令28日および一年の場合ともほぼ同一の相関度を示し、かなり強度試験時の含水率と強度との相関の高いことがわかる。また強度試験時までの積算含水率と強度との関係については、材令28日までについてはかなり相関が高く、材令一年までについては、強度試験時含水率と強度との関係の

試験体 No.	コアの位置	材令		28 日				1 年				
		項目	A	B	C	平均 **	A	B	C	平均 **		
I	①	Fc *1	221	207	208	212.0	240	239	261	246.7		
		ϕ **	7.71	9.51	12.31	9.84	4.56	5.40	6.56	5.51		
		$\sum \phi_i$ **3	304	350	395	349.7	1998	2273	3120	2463.7		
	②	Fc	230	238	260	242.7	288	290	324	300.7		
		ϕ	9.20	11.25	18.0	12.81	5.25	6.15	7.80	6.40		
		$\sum \phi_i$	347	392	504	414.3	2273	2714	3486	2824.3		
II	—	Fc	230	228	223	226.8	245	243	239	242.5		
		ϕ	10.91	11.76	13.36	12.01	5.30	6.10	6.65	6.02		
		$\sum \phi_i$	388	364	415	389.0	2036	2187	3314	2512.3		
III	—	Fc	215	203	195	204.0	222	204	212	212.7		
		ϕ	8.33	8.70	9.70	8.91	4.50	4.65	5.33	4.83		
		$\sum \phi_i$	316	313	331	320	1965	2159	2323	2149		
10φ シリンダー 供試体標準 気中養生	—	Fc	145						(注) *1 強度 (kg/cm ²)			
		ϕ	7.25						*2 強度試験時含水率 (°/vol)			
		$\sum \phi_i$	269.9						*3 積算含水率 (°/vol) i: 日			
10φ シリンダー 供試体標準 水中養生	—	Fc	259						*4 No. I 試験体の①, ②の総平均は、材令28日 で Fc=227.2, ϕ =11.33, $\sum \phi_i$ =382.0			
		ϕ	18.00						材令1年で、Fc=273.7, ϕ =5.96,			
		$\sum \phi_i$	504.0						$\sum \phi_i$ =2644			

表-4 強度試験結果

なり、材令1年では、No. Iが最も大きく、次いでNo. II, IIIの順となって、試験時の含水率および積算含水率の平均値の傾向と同様の結果を示している。材令28日から1年までの強度の伸びは、総平均強度で比較すると、各試験体とも強度の増進が認められ、No. I試験体が最も大きく、次いでNo. II, IIIの順となり、No. IIIはわずかに強度の伸びが見られる程度であった。

また表-4の結果から、強度試験時の各試験体のCグループ位置における断面内の含水率の分布を示したのが図-6であるが、内部から表層部になるに従い含水率が低下している様子がわかる。含水率の断面内の分布と、強度の分布との対応関係を調べるために、特にNo. I試験体について、A, B, C各グループの断面方向の強度の分布を図-7に示したが、これによると、最上層の強度は材令28日および一年とも大差ないが、内部および最下層の強度は材令一年の方が材令28日よりも大となり、強度分布の形態は、材令28日と材令一年で異ってはいるものの、いずれの材令の場合とも、乾燥の急速な表層部より緩慢な内部の方が強度が大きく、Cグループにおいて、材令28日で約 50 kg/cm²、一年で約 60 kg/cm² の強度差が認められ、図-6に示した含水率の分布の傾向と

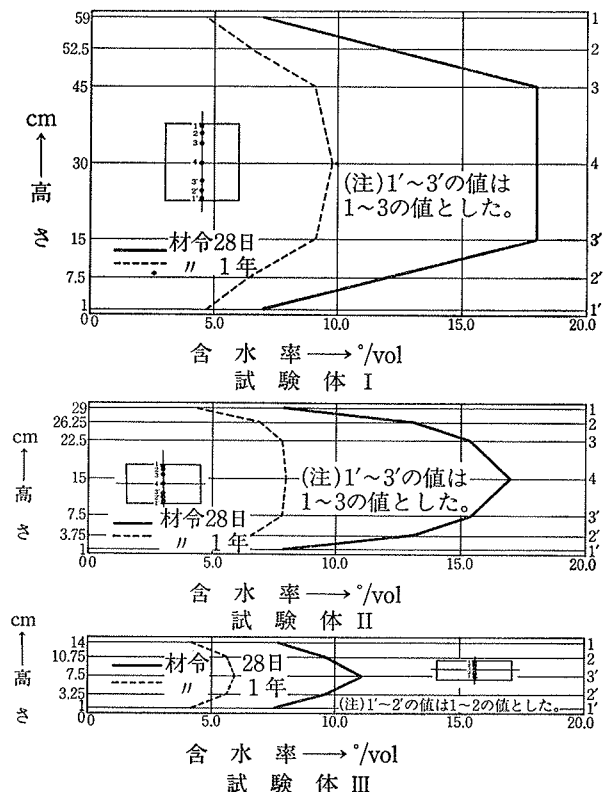


図-6 各試験体の断面内の含水率分布状態

場合よりも相関度が低くなっているが、これは、材令初期の含水率の履歴が強度発現に大きな影響を与え、長期的な含水率の履歴の影響は初期の場合ほど顕著でないことを示しているものと推察される。

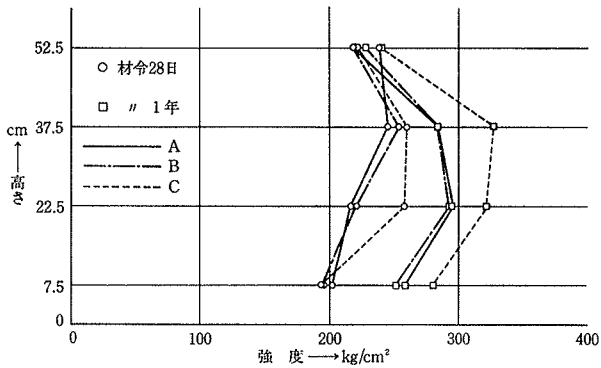


図-7 No. I 試験体の断面の強度分布

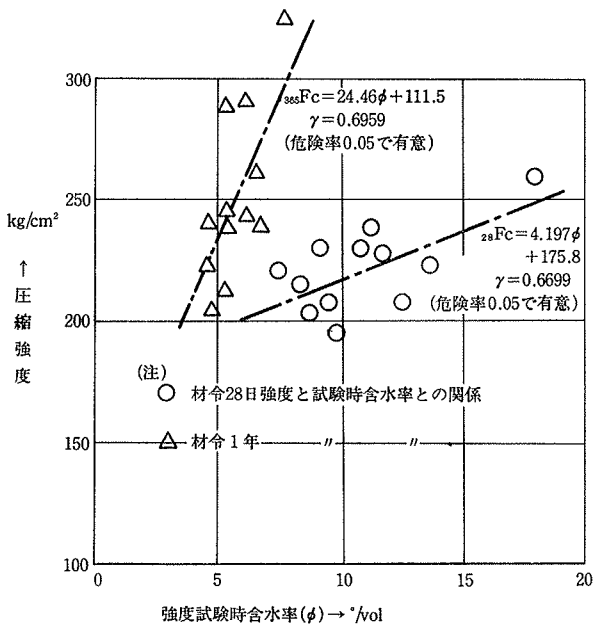


図-8 強度試験時含水率と強度との関係

含水率の履歴の影響を検討するためには、強度試験時含水率よりも積算含水率の考え方が妥当と思われるが、今回の実験の範囲ではその妥当性を具体的に明らかにす

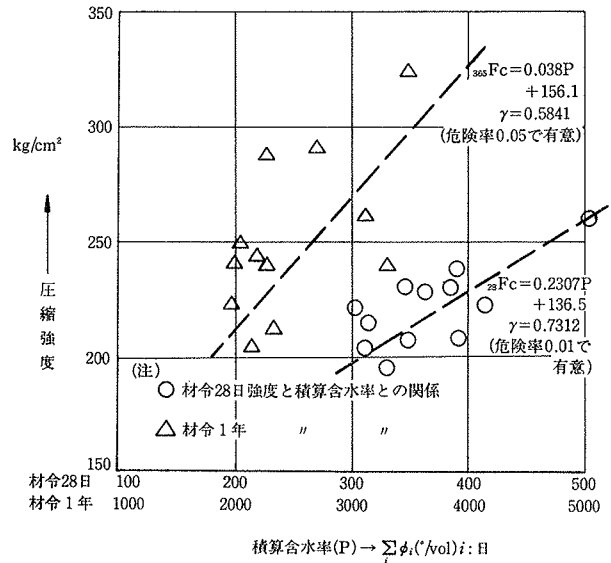


図-9 積算含水率と強度との関係

ることはできなかった。

4. あとがき

今回の実験は、乾燥が連続して進行するという条件下で行なったもので、このような乾燥条件の顕著な場合には、強度発現はコンクリート中の含水率の影響を大きく受けることを明らかにすることができた。今後、実際の各部材について、含水率の影響を定量的に検討する必要があると考えられる。

なお本実験は、大林組 SCCS 研究グループ (高橋久雄, 久保田昌吾, 中根淳, 永井康淑, 長尾覚博, 川口徹, 大池武)の内, 久保田昌吾, 永井康淑, 長尾覚博が担当した。

参考文献

- 1) 田畑, 洪, 鎌田: 電極法によるコンクリート含水量の測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和51. 10)
- 2) 高橋, 他: 構造体コンクリートの強度管理に関する研究 (その6~9), 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和53. 9) (文責 長尾覚博)