

論文 吸水試験に基づくコンクリートの品質判定に関する研究

清水五郎

要旨: 既存モルタル・コンクリートの調(配)合の推定は主として化学的方法により、強度はコア供試体により確認するのが一般的であるが、前者の化学法は試験を専門技術に委ねなければならない実情にある。本研究は、乾燥させた試験片(5φ×10cm)を水中に浸して吸水試験を行い、時間-吸水曲線に代表される吸水性状から調合や強度の推定が十分可能であることを示すものである。適用範囲は、現時点ではモルタル硬化体に限定されるが、46種類の調合を対象とした各々の推定誤差は単位水量に対して3.8%、セメント量7.5%、砂量5.8%、圧縮強度約10%の範囲内にある。

キーワード: モルタル, 吸水試験, 吸水率, 調合, 圧縮強度

1. はじめに

乾燥したモルタルを水中に浸すと吸水し、この吸水性状を時間-吸水曲線として捉えると、総ての曲線は代数関数により精度良く定量化することができる。また、これらの時間-吸水曲線から求まる実験定数、吸水速度、同曲線によって囲まれる面積等は当該モルタルの調合や強度と比較的良好な相関性が認められる[1], [2]。

以上の観点から本研究は、モルタル硬化体の品質を評価する新たな手法として、吸水試験により品質を推定する方法を確立するために、モルタルによる基礎的な実験を実施し、その可能性を検討するものである。

2. 実験の概要

2.1 供試体の製作及び養生

普通ポルトランドセメント(表-1)、川砂(表-2)を用いたプレーンモルタルを試験の対象とし、水セメント比と砂セメント比の組み合わせから成る調合46種類について吸水試験に供するものとした。実験調合を表-3に示す。

モルタルの混り練ぜは、20℃、R.H.70%の恒温恒湿室においてJIS A 5201(セメントの物理試験方法)に準じて手練りによって入念に行い、5φ×10cm供試体を各々製作した。供試体は打込み24時間後に脱型し、所定の材令まで水中養生(20℃)を継続するものとした。

表-1 セメントの物理試験結果

比重	比表面積 (cm ² /g)	凝 結			安定性	圧縮強度 (kgf/cm ²)		
		水量 (%)	始発 (時分)	終結 (時分)		3日	7日	28日
3.2	3270	28	2-37	3-54	良	154	253	420

表-2 細骨材の物理試験結果

産地	比 重		吸水率 (%)	単位重量 (kg/l)	実績率 (%)	粗粒率
	絶乾	表乾				
大井川	2.57	2.62	2.4	1.643	65.2	2.41

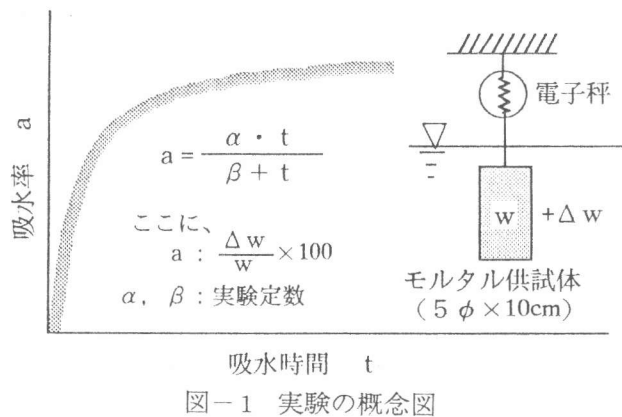


図-1 実験の概念図

表-3 実施モルタルの調合・強度・係数

W/C (%)	S/C	単位質量 (kg/m ³)			フロー	絶乾比重	a _t = α × t / (β + t) の係数			指標面積 A ₁₂₀	圧縮強度 (kgf/cm ²)
		水	セメント	砂			α	β	α / β		
35	0.0	515	1470	0	175	1.78	12.97	3.89	3.33	1382	457
	0.5	402	1149	574	165	1.95	9.41	6.62	1.42	945	561
	1.0	330	943	943	145	2.03	7.93	11.51	0.69	729	557
40	0.0	547	1368	0	215	1.67	16.77	2.80	5.99	1834	380
	0.5	434	1085	543	205	1.86	12.27	5.35	2.29	1265	443
	1.0	360	899	899	182	1.96	9.52	9.56	1.00	905	505
	1.5	307	768	1152	145	2.06	7.53	14.16	0.53	664	474
	2.0	268	670	1340	118	2.08	6.90	15.68	0.44	594	528
	2.5	238	594	1485	100	2.08	6.26	15.32	0.41	542	483
45	0.5	463	1028	514	237	1.76	15.48	4.35	3.56	1632	358
	1.0	387	860	860	216	1.91	11.78	8.91	1.32	1133	465
	1.5	333	739	1108	188	1.99	9.20	10.44	0.88	861	452
	2.0	292	648	1296	159	2.02	8.27	12.33	0.67	750	395
50	0.5	489	977	489	231	1.71	16.13	5.28	3.05	1666	302
	1.0	412	824	824	226	1.84	14.38	9.79	1.47	1362	346
	1.5	356	712	1068	229	1.92	11.69	7.66	1.53	1151	379
	2.0	314	627	1254	174	1.98	9.86	9.87	1.00	932	399
	2.5	280	560	1401	139	2.02	9.01	23.14	0.39	701	358
	3.0	253	506	1519	110	2.02	8.41	23.66	0.36	650	318
55	0.5	512	931	465	285	1.64	18.95	7.55	2.51	1869	266
	1.0	435	791	791	271	1.81	14.61	8.77	1.67	1409	308
	1.5	378	687	1031	246	1.91	12.24	7.13	1.72	1217	338
	2.0	334	608	1215	214	1.97	10.90	11.06	0.99	1010	358
	2.5	300	545	1362	178	2.02	9.06	14.06	0.64	800	346
	3.0	271	493	1480	133	2.01	8.44	12.40	0.68	765	351
60	0.5	533	888	444	—	1.63	20.79	7.06	2.94	2070	267
	1.0	456	760	760	—	1.73	15.78	6.72	2.35	1582	296
	1.5	398	664	996	261	1.84	14.09	8.42	1.67	1367	294
	2.0	354	589	1179	237	1.92	12.02	9.54	1.26	1143	265
	2.5	318	530	1325	208	1.98	10.46	10.57	0.99	977	293
	3.0	289	481	1444	168	1.99	9.54	10.71	0.89	889	306
65	0.5	552	850	425	—	1.55	24.39	6.41	3.80	2460	241
	1.0	476	732	732	—	1.78	16.76	8.18	2.05	1634	311
	1.5	417	642	963	—	1.90	13.11	11.57	1.13	1204	338
	2.0	372	572	1144	267	1.94	12.04	10.32	1.17	1130	285
	2.5	335	516	1290	239	1.99	10.90	11.47	0.95	1003	303
	3.0	305	470	1409	200	2.03	10.05	13.00	0.77	902	305
	3.5	280	431	1509	156	2.02	9.41	18.73	0.50	776	282
70	1.5	435	622	933	—	1.79	16.59	10.34	1.60	1556	220
	2.0	389	556	1112	—	1.86	14.24	10.99	1.30	1321	228
	2.5	352	503	1257	266	1.93	12.60	11.37	1.11	1161	234
	3.0	315	450	1349	228	1.97	11.42	14.91	0.77	995	232
75	2.0	405	541	1081	—	1.87	14.75	9.57	1.54	1402	218
	2.5	368	490	1225	278	1.89	13.77	11.14	1.24	1274	228
	3.0	336	448	1345	250	1.99	12.17	26.96	0.45	904	225
	3.5	310	413	1446	211	2.01	10.04	11.35	0.88	926	244

2. 2 吸水試験・圧縮強度試験

供試体は、水中養生8週を経過したものについて、100℃の炉中で絶乾状態になるまで乾燥させて吸水試験を行うものとした。吸水試験は供試体を極細のナイロンてぐすによって水中に吊らし、電子台秤(感度0.01g、秤量3000g)を用いて水中質量の経日変化を測定する方法によった。吸水試験の概念を図-1に示す。なお、供試体が吸水する際に微細な気泡が発生してその表面に付着するため、除去して実験精度を高めることにつとめた。圧縮強度は、材令4週において求めた。

3. 結果と検討

3.1 水中重量と気中重量

吸水試験の基本事項として、水中において計測される質量の経日変化は試験上何を意味するのかを確認することが必要となる。個別の試験として、気中において実測した吸水量と水中において測定した質量変化とを比較すれば図-2を得る。図-2によれば、水中における実測値は相対的にやや小となるが、両者の差はわずかであり、かつ一定の公差内にある。したがって、モルタルの吸水量を近似的に水中における質量変化の増分として促えても特に不都合はないものと判断されるので、便宜上この近似法に基づき以下の検討を行うこととした。

3.2 時間-吸水曲線

本試験より得られた吸水率の経日変化の一例を図-3に示す。吸水速度は初期に大きく、時間の経過と共に漸次飽和状態に近づき、次第に減少することが認められる。時間(t)-吸水(a)曲線を下式の代換関数として近似させれば、

$$a_t = (\alpha \times t) / (\beta + t) \quad \dots (1)$$

ここに、 α 、 β は実験定数

各々の吸水試験に対して実験定数 α 、 β を得る。なお、(1)式の適合性については $\gamma = 0.938$ を示し、比較的良好な相関性が得られるものと判断される。

試験値に基づくt-a曲線から α 、 β を求め、総ての結果を表-3に示した。なお、(1)式の特徴から、 $t = \infty$ のときの α 値は供試体の最大吸水率を、 α / β はt-a曲線の $t = 0$ における傾き、つまり初期吸水速度を指すことになる。一般に、モルタルの調合と実験定数との関係については、

- 1) 単位水量が増大するほど α 、 α / β は大きくなる。
 - 2) 単位砂量が増大するほど α 、 α / β は小さくなる。
 - 3) 水セメント比が一定の場合、砂セメント比が増加すると、 α 、 α / β は大きくなる。
 - 4) 砂セメント比が一定の場合、水セメント比が大きくなるほど、 α 、 α / β は大きくなる。
- 等の傾向が認められる。一方、図-3(a)に示すように、t-a曲線によって囲まれる面積(A_t)は、後に調合を推定するための有用な指標となる。

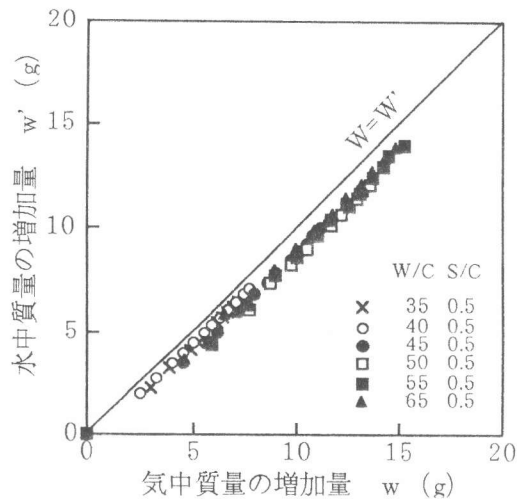


図-2 気中質量と水中質量の増加量の比較

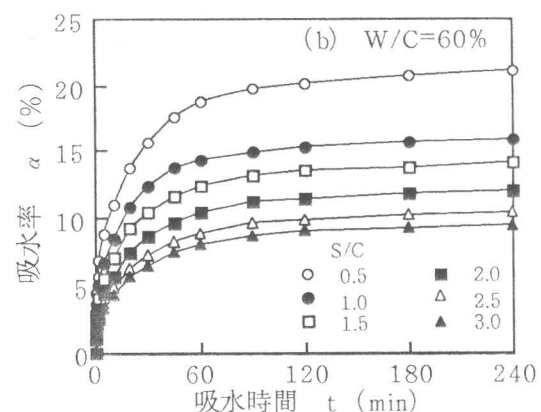
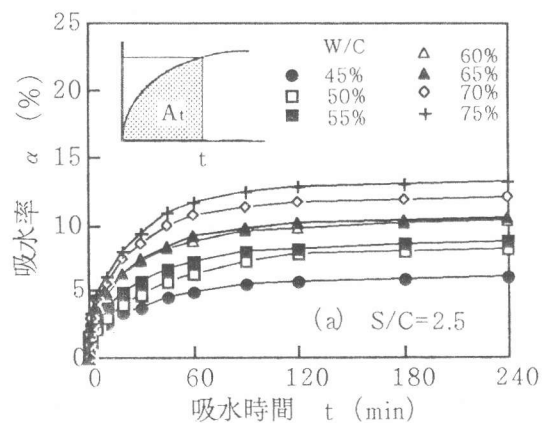


図-3 時間-吸水曲線

3. 3 調合の推定

(1) 単位水量

吸水試験における最大吸水率は供試体の内部空隙量の側面を十分反映すると考えることから、 $t-a$ 曲線の係数 α と調合上の単位水量とは密接な関係にあることが予想される。両者の関係を求めれば図-4となり、比較的良好な相関性が認められることから、 $t-a$ 曲線の α 値を用いて次式(2)により、単位水量を推定することができる。なお、単位水量の推定値は概ね図-9-(a)に示すように誤差3.8%の範囲内にある。

$$W = 18.2\alpha + 112 \quad \dots (2)$$

(2) 単位セメント量

先に示した時間-吸水曲線で囲まれる面積 (A_t) は(1)式を積分することで求まる。吸水2時間経過時の面積 A_{120} を求め、 $t-a$ 曲線の係数 α との関係を示せば図-5となる。図-5は、水セメント比毎に個別の直線とみなすことができ、その傾きは概ね水セメント比が大きくなるにつれてほぼ比例して大となる傾向にある。これらを(3)、(4)式で示す。

$$A_t = \alpha [(\beta + t) - \beta \log_e(\beta + t)] \quad \dots (3)$$

$$w/c = \{[(\alpha - 2.2)/A_t] \times 235 - 1.47\} \times 10^2 \quad \dots (4)$$

次に、 $t-a$ 曲線の係数 α と調合上の単位セメント量との関係を求めると図-6となり、水セメント比と砂セメント比毎にいずれも良好な直線性が認められる。したがって、単位セメント量の推定は、図-5又は(4)式により水セメント比の概略値を求め、この値を用いて図-6よりセメント量を求める方法が他の方法に比べてより高い精度が期待できる。また、図-6から w/c と $t-a$ 曲線の α 値を用いて砂セメント比 (s/c) の概略値を求めることができる。したがって先に求めた単位セメント量 (c) に基づき単位砂量を算定 ($s/c \times c$) することができる。

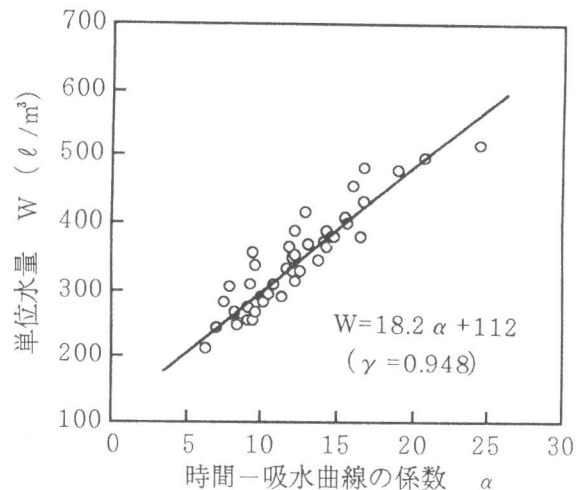


図-4 単位水量の推定図

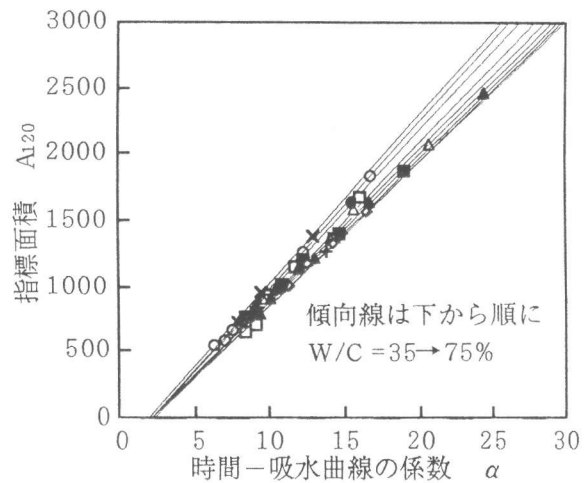


図-5 水セメント比の推定図

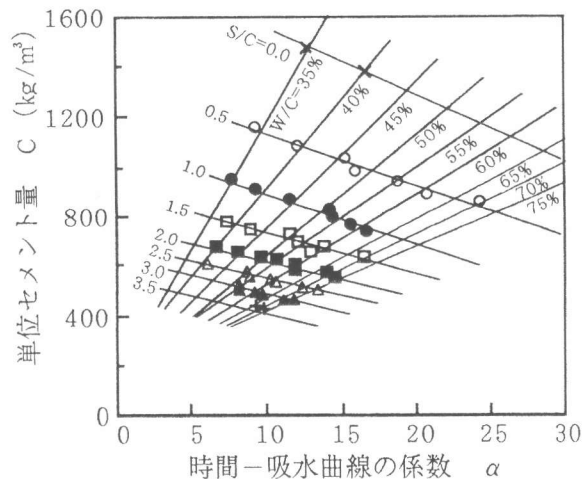


図-6 単位セメント量・砂量の推定図

3. 4 圧縮強度の推定

4週圧縮強度の試験値を表3に示す。これらの結果は水セメント比(又はセメント水比)との関係において従来の諸説の範囲内にあるが、 $t-a$ 曲線の係数 α と圧縮強度との関係で示すと図-7のようになり、砂セメント比毎に顕著な直線性が認められる。したがって図-6から求めた砂セメント比を用いて図-7に適用し、 $t-a$ 曲線の係数 α との関係から圧縮強度を推定することができる。この場合、推定した水セメント比から圧縮強度を推定するよりも精度はかなり向上する。

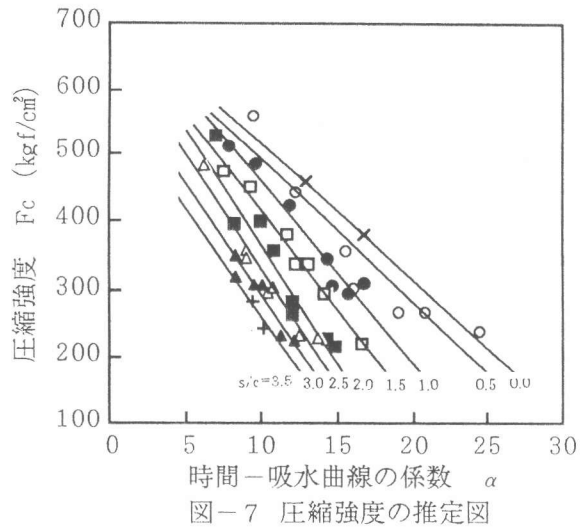


図-7 圧縮強度の推定図

3. 5 推定精度

上述のごとく、調合・強度の推定方法についてその手順を示したが、理論上その他の手順による算定法も数多く存在する。今回の実験においてはモルタルの空気量を実測していないこともあって、[水]+[セメント]+[砂]の構成材料の内、2材料が既知量となっても引き算による算定方法は避けるなど、推定精度が最も向上する手段を示したものである。以上の調合・強度の推定方法を要約して示すと図-8となる。ここで、図-8に基づいて全モルタルの調合・強度を推定し、実際の値に対する誤差を検討すると図-9のようになり、結果はほぼ満足すべき範囲内にあるものと思われる。

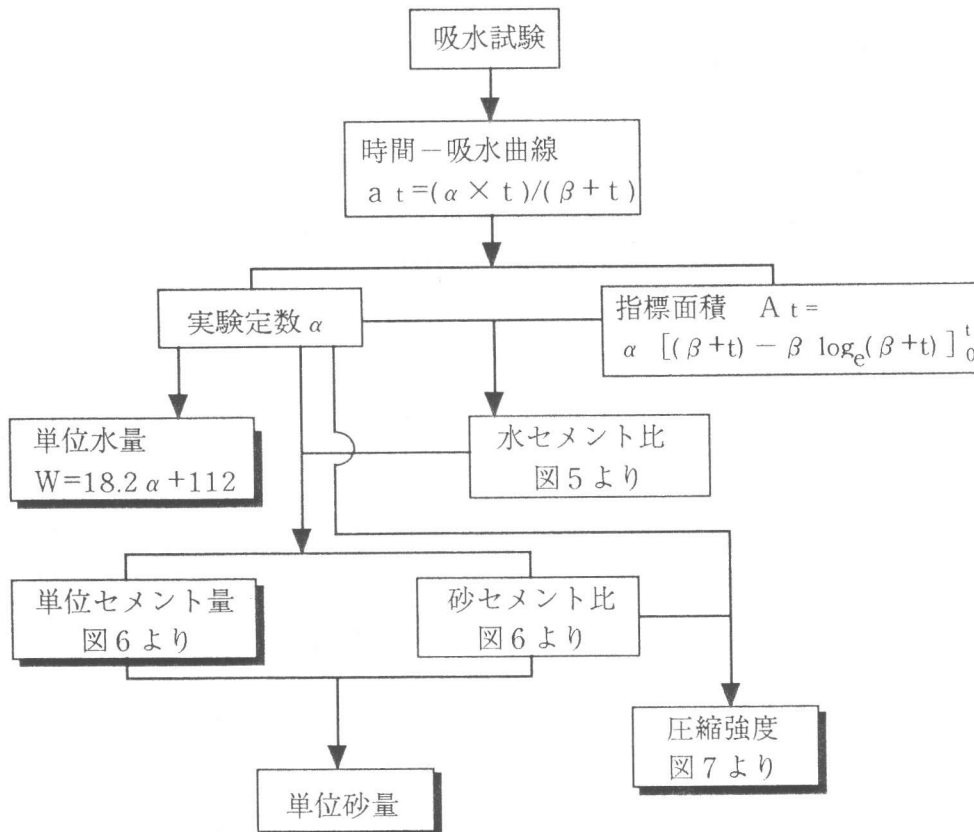


図-8 調合・強度の推定のためのフロー

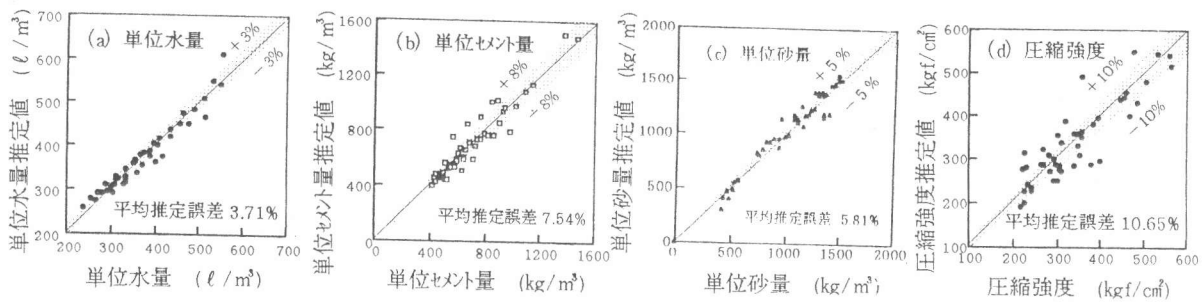


図-9 調合・強度の推定精度

4. まとめ

既存コンクリートの品質を簡易に推定するための基本的な実験として、モルタルを対象とし、吸水試験に基づく調合と圧縮強度の推定を試みた結果、概ね次のような知見が得られた。

1) 吸水試験における時間-吸水曲線は下式により近似させることができる。

$$a_t = (\alpha \times t) / (\beta + t) \quad \text{相関係数 } \gamma = 0.938 \text{ である。}$$

2) 時間-吸水曲線の係数 α 、 α/β 、指標面積 A_t は調合推定のための有用な指標と考えられる。

3) 吸水試験よりモルタルの構成材料を推定する場合、単位水量3.8%、単位セメント量7.5%、単位砂量5.8%の誤差範囲で各々推定が可能であることを示した。

4) モルタルの圧縮強度は砂セメント比による影響が大である。強度の推定は係数 α と砂セメント比から、誤差約10%程度以内で推定が可能であることを示した。

5. あとがき

本研究に採用した吸水試験方法から得られる時間-吸水曲線及び関連指標は、モルタル硬化体の内部空隙の多少を十分に反映することから、耐久性上の指標として有効かどうかについて今後検討を加えたい。また、コンクリートはモルタルと粗骨材の2成分から構成される複合材であるから、コンクリートの品質判定に関して本研究の適用性を検討したい。特に、ウェットスクリーニングモルタル硬化体と同硬化体コンクリートとの関係について今後検討を行いたい。

本研究の実施に際して、当研究室の卒業研究生多数の協力を得ていることを記し、心から謝意を表する次第である。

参考文献

- [1] 清水五郎：コンクリートの吸水性状に基づく品質の評価に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1075-1076、1995.8
- [2] 清水五郎、滝沢 烈：モルタル・コンクリートの吸水性状に基づく品質の推定に関する一実験、第21回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集、pp.19-22、1994.10
- [3] 庄谷征美、月永洋一：コンクリートの簡易透水試験法に関する一検討、第21回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集、pp.23-28、1994.10
- [4] 笠井芳夫、松井勇、湯浅昇：簡易な試験方法による構造体コンクリートの品質評価の試み、セメント・コンクリート No559、pp.20-28、1993.9