

論文

[1146] 壁型枠へのコンクリート打設に関する解析的および実験的研究

正会員 谷川恭雄 (名古屋大学建築学科)

同 森 博嗣 (名古屋大学建築学科)

同 ○渡辺健治 (名古屋大学大学院)

1. まえがき

近年、コンクリート工事の合理化・省力化手法に加え、コンクリート工事に対する品質管理のあり方が問われている。また一方では、高強度・超高強度コンクリート、繊維補強コンクリート、水中コンクリート、ハイパフォーマンスコンクリートなどの新材料や、圧入工法、仕上材先付工法、無振動打設工法などの新工法が次々と開発されている。これらの新材料・新工法の実用化に際しては、膨大な量の実大実験を行い、その妥当性を逐次検証する必要がある。

筆者らは、既に粘塑性有限要素法 (VFEM) およびサスペンション要素法 (SEM) によるフレッシュコンクリートの流動解析手法を提案し、各種レオロジーおよびコンシステンシー試験をはじめ、各種施工条件下のコンクリートの流動挙動のシミュレーションにこれらの方法を適用してきた[1,2]。また、実施工規模のシミュレーションが可能な解析手法として、粘塑性空間要素法 (VDEM) を開発した[3,4]。

本報では、壁状型枠内に打設されるフレッシュコンクリートの挙動をVDEMを用いて解析し、コンクリートのレオロジー性質の影響について検討するとともに、小型模型壁状型枠を用いた流動実験によって、解析手法の妥当性を検証する。

なお本実験は、建設省総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発」の一環として実施したものである。

2. 解析手順

図-1 に解析対象型枠を示す。解析は後述の実験を想定し、無筋 (SA型枠)、鉄筋を16本および25本配置したもの (SB型枠およびSC型枠) の、計3種類の条件について行った[5]。後掲の実験結果の観察によれば、前後の型枠面近傍と中央部での流動挙動の差異はほとんど見られなかったため、前後の型枠面における付着やすべりなどの影響を考慮せず、解析は2次元問題として取り扱った。実験との比較の際には、壁厚 (6 cm) を考慮して、解析上の打設量を算定した。また、鉄筋は固定節点で表現した[3]。コンクリートは、後掲の実験と同様に、型枠左端から10 cmの範囲から打設するものとした。

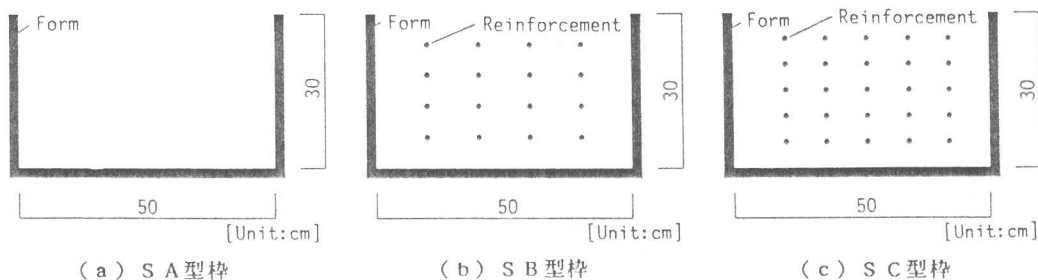


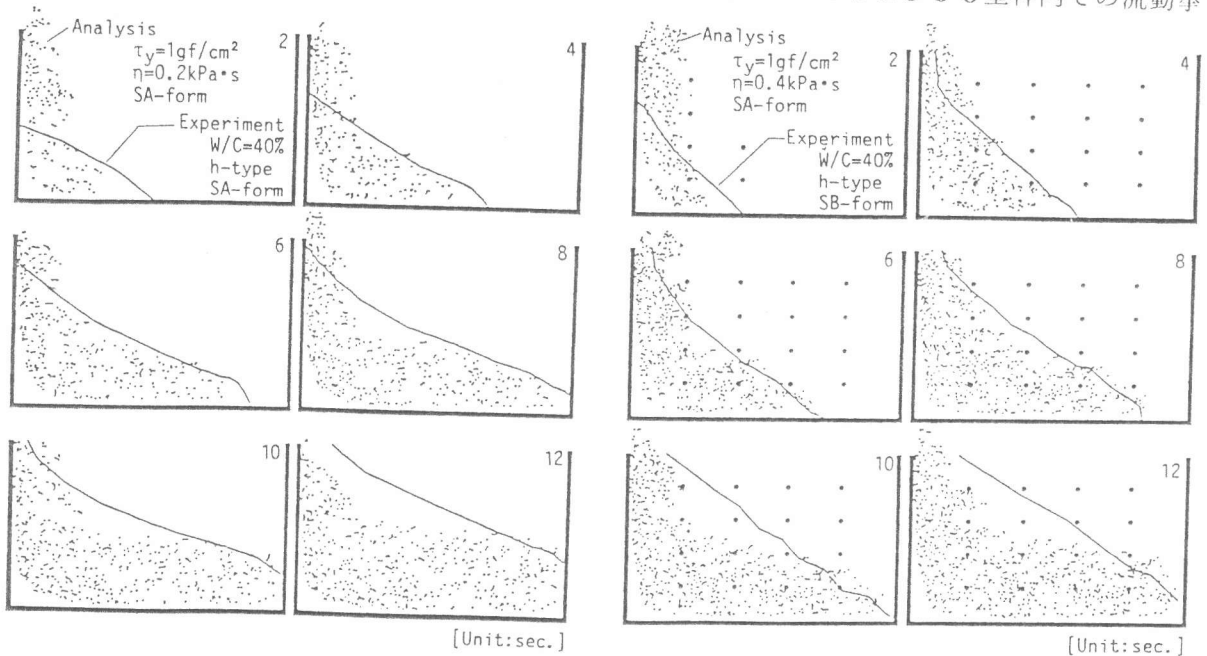
図-1 解析に用いた型枠

3. 解析結果とその考察

3.1 鉄筋の考慮方法

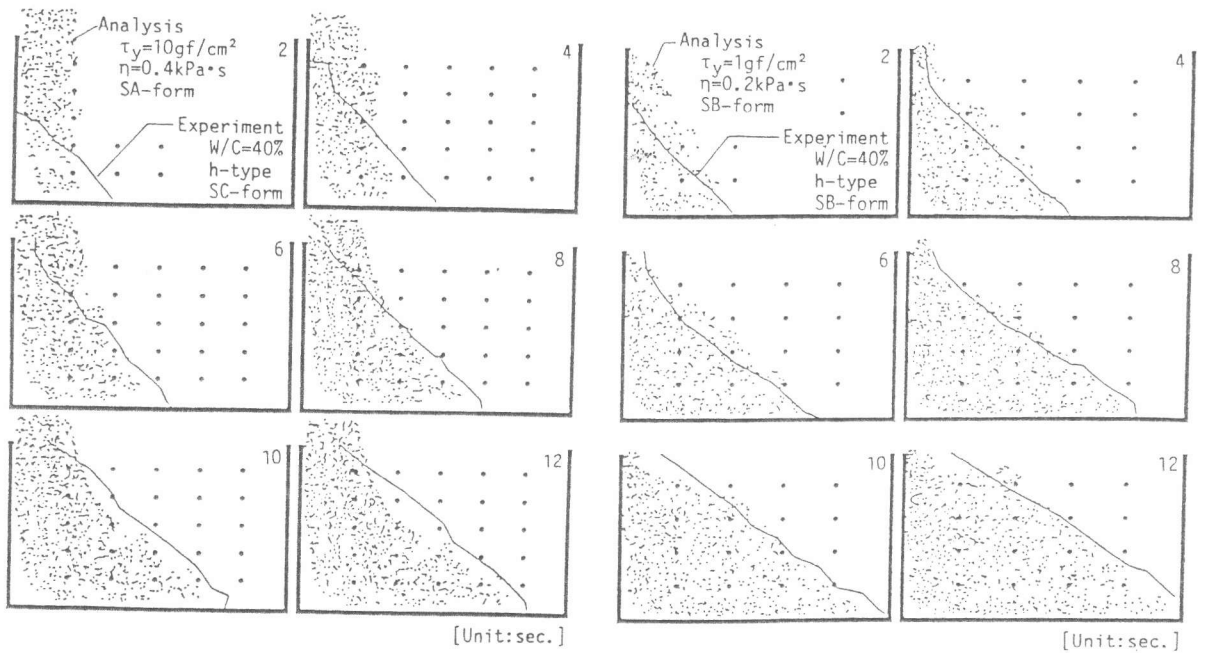
今回用いたような解析対象の場合、鉄筋の存在を見かけのレオロジー性質の違いとして処理する方法と、そのまま鉄筋をインプットする手法の2つの方法が考えられる。

図-2に、解析および実験によって得られたフレッシュコンクリートの流動状況の一例を示す。図中の点は解析結果を、また、実線は実験から得られた試料上面の形状を示している。図-2 (a) はS A型枠内での流動シミュレーションであり、図-2 (b) および (c) は、解析にS A型枠を用い、レオロジー定数を増加させることによって実験のS BおよびS C型枠内での流動挙



(a) S A型枠内での流動

(b) S B型枠内での流動



(c) S C型枠内での流動

(d) S B型枠内での流動

図-2 流動挙動の一例

動をシミュレートした場合である。また、図-2 (d) は、レオロジー定数を変化させず、解析にも拘束節点で配筋を表現したSB型枠を用いてシミュレーションを行った結果である。

図-2によれば、解析で得られた試料の流動挙動は、実験の結果と、若干の相違が見られるものの、全体としての流動挙動の特徴をよく表現している。図-2 (a) ~ (c) に示されるように、鉄筋量が増加するにしたがい、実験における試料の充填速度は遅くなるが、実験結果と一致させるためには、解析に用いる試料のレオロジー定数を2~10倍程度増大させる必要があった。また、図-2 (d) に示されるように、実際の配筋条件を解析に入力する方法では、異なる配筋条件下での流動挙動を予測することが可能であるが、3次元に配筋されている実際の型枠内での流動挙動の解析を行うことは、現在の計算能力では現実的ではなく、鉄筋の抵抗性をみかけのレオロジー定数の増加として定量化した上で、単純な2次元解析を行う方法が実用化に近いものと考えられる。

3.2 試料上面の形状

コンクリートの流動挙動は、主として上面の形状に現われるため、配筋条件を入力して得られる解析結果より、打設時の試料上面の傾斜を比較した。打設口右端(型枠左端より10cm)から右端までの範囲における上面の形状を最小2乗法で直線近似し、その傾斜角度(θ)を求めた。図-3に θ の経時変化の一例を示す。図によれば、いずれの型枠でも、塑性粘度が大きいもの、すなわち変形速度が遅いものほど打設中の上面の傾斜が急になることが分かる。この傾向は降伏値にも若干影響されるが、流動途中の上面の形状であるため、塑性粘度の影響を大きく受けるものと思われる。また、鉄筋量が増えるにしたがい、上面はさらに急勾配となり、図には示していないが、鉄筋量が最も多いSC型枠では、 θ の算定が困難となったケースもあった。

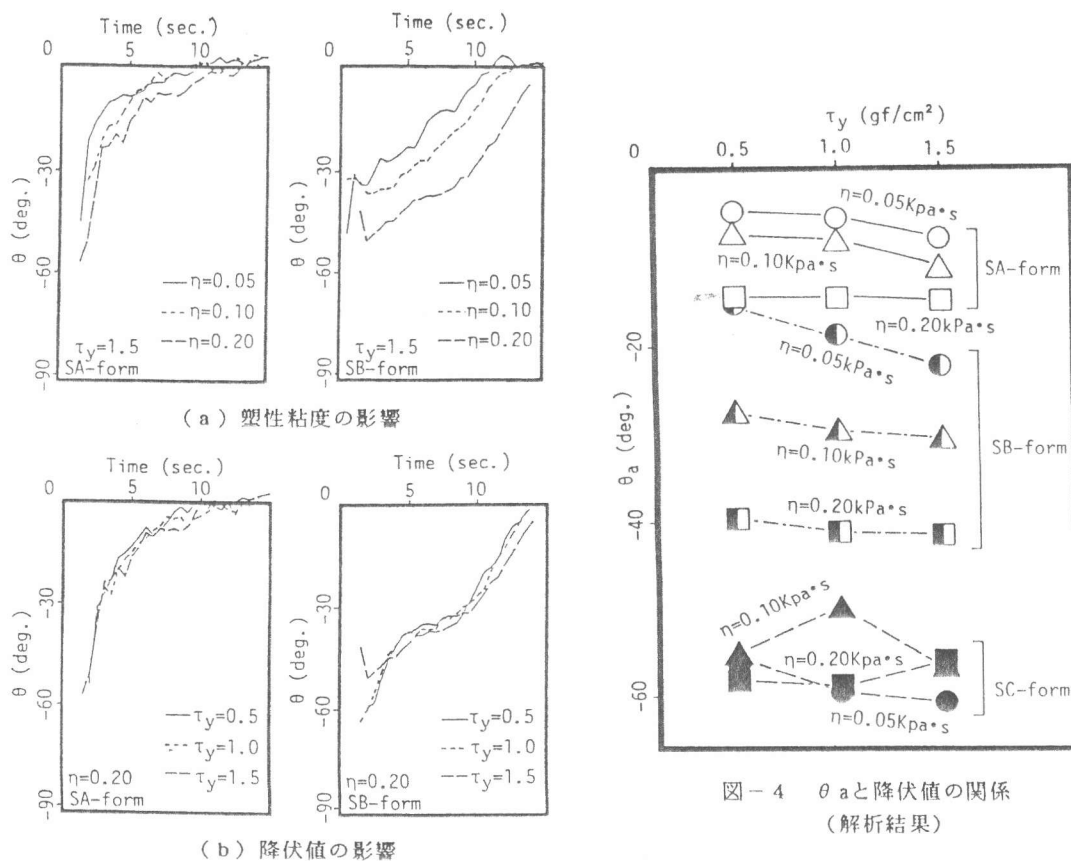


図-3 θ の経時変化(解析結果)

図-4 θ_a と降伏値の関係(解析結果)

打設量が、打設終了時（15秒後）の20%から50%となる間の平均の θ を θ_a とし、これとレオロジー性質の関係を図-4に示す。SA型枠およびSB型枠内への打設の場合、 θ_a は塑性粘度（ η ）に強く影響されており、 η が増大するにつれて、その絶対値は大きくなっている。しかし、SC型枠のように、鉄筋が密に配されたものについては、前述のように、傾斜は限界に近づき、いずれも-50~-60度程度の値となっている。

4. 実験概要

4.1 型枠および試験装置

解析と同条件のSサイズの型枠（図-1参照、壁厚6cm）および体積比で2倍の相似形の型枠（Mサイズの型枠。SA、SBおよびSC型枠に対してそれぞれMA、MBおよびMC型枠、63.0×37.8×7.5cm）を用いて、モルタルによる打設実験を行った。鉄筋の代用品として、いずれの型枠でも $\phi 10$ mmの亚克力管（以下、鉄筋と略称）を用いた。

図-5に打設方法の概略を示す。上部バケツにモルタルを約60 ℓ 投入し、流量調節パイプを通して、試料の自重によって型枠内へ打設した。また、開口部の下部にロートを設け、型枠左端10cm以内の位置から試料が打設されるようにした。試料が型枠内で十分に流動する場合は、ロート部に試料が滞留することはなかった。

4.2 試料

実験に用いたモルタルの調合および測定結果を表-1に示す。試料のコンシステンシーは、軟練り（sタイプ）と硬練り（hタイプ）になるように、L型フロー試験装置[6]を1/2に縮小した、小型L型フロー試験装置を用いて決定した。なお、W/C=40%のsタイプおよびW/C=30%の試料については、高性能AE減水剤（K社製ナフタリン系）を内割で添加した。

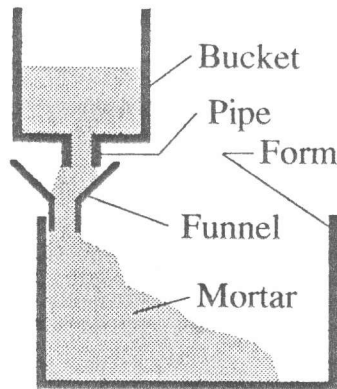


図-5 実験の概要

表-1 調合および測定結果

Type	W/C	S/C	HAE	sLf	Cs
55-h	55	2.5	0	13.9	860
55-s	55	2.1	0	25.5	2040
40-h	40	1.1	0	12.9	440
40-s	40	1.1	0.2	17.7	1120
30-h	30	0.9	0.8	11.3	190
30-s	30	0.9	1.3	38.3	670

[Notes]

W/C:Water-cement ratio (%), S/C:Sand-cement ratio, HAE:High-performance AE water reducing agent (%/C), sLf:Small size L-type flow value (cm), Cs: Average of casting speed (cm³/sec.).

5. 実験結果とその考察

5.1 流動状況

実験によって得られた型枠内でのモルタルの流動挙動の一例を図-6に示す。図中の曲線は2秒ごと

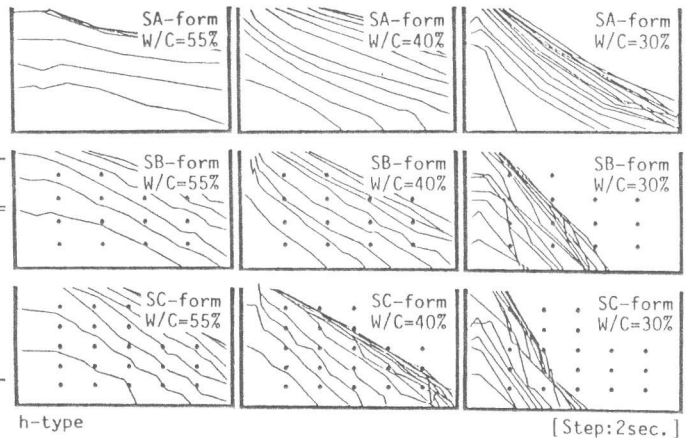


図-6 試料上面の形状（実験結果）

の試料上面の推移状況を示している。一般に、 W/C が小さくなるほど流動しにくくなる様子が観察され、 $W/C = 30\%$ のhタイプの試料をSC型枠内に打設した場合などでは、打設完了前に試料が打設口まで到達したため、途中で打設を終了した。また、鉄筋量が増えるにしたがい、流動しにくくなる様子が観察され、前掲の解析結果と類似した傾向を示している。

本実験で用いた試料は、レオロジー定数が比較的小さく、型枠内で閉塞する場合でも、鉄筋下部における空隙などは観察されなかった。

5.2 試料上面の形状

解析の場合と同様に、試料上面の形状を最小2乗法によって直線近似し、その傾斜角度(θ)を求め、図-7にその経時変化を示す。いずれの実験例でも、鉄筋量が増すほど θ の絶対値は大きく、流動抵抗が大きくなることが分かる。

$W/C = 30\%$ のsタイプを除いて、また、解析の場合と同じ方法で、平均勾配(θ_a)を求め、これとセメント水比(C/W)との関係の一例を図-8に示す。同図では、打設量が型枠容積の50%に達せず、型枠内で閉塞した場合は、 $\theta_a = -90$ の点に実験値をプロットした。

C/W および鉄筋量が増加するにしたがい、 θ_a の絶対値は大きくなる傾向がある。また、sタイプの試料と比較して、硬練りのhタイプの方が、配筋量が θ_a におよぼす影響は大きくなることが分かる。

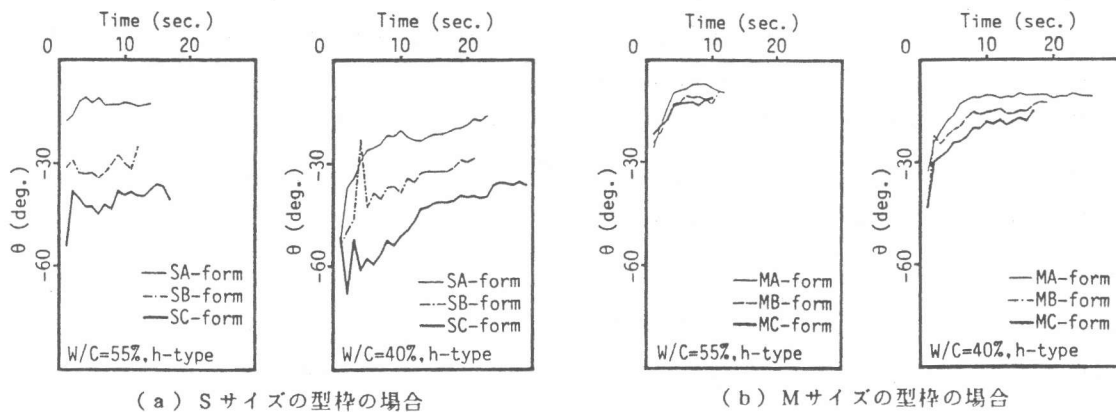


図-7 θ の経時変化(実験結果)

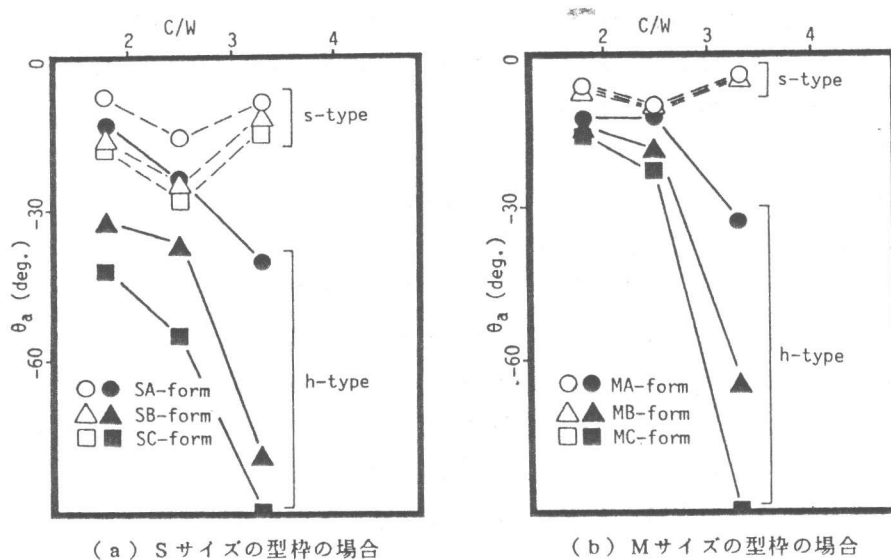


図-8 θ_a と C/W の関係(実験結果)

図-8(a)と図-8(b)を比較すると、sタイプの場合、型枠が大きくなることによって、いずれも θ_a の絶対値は小さくなっており、この傾向は、hタイプのC/Wの小さい試料ではさらに顕著となる。これは、型枠が大型になることによってレイノルズ数が増大することとなり、試料が見かけ上流動し易くなっていることを示している。また、鉄筋量による影響も、Sサイズの型枠の場合はいずれのC/W、コンシステンシーでも明瞭に現われるのに対して、Mサイズの型枠内にsタイプの試料を打設した場合は、鉄筋量やC/Wの影響は出にくく、hタイプの試料でもC/Wが小さい場合は鉄筋量の影響が現われにくい。

さらに、図-5と比較すると、解析では、要素分割の制約から鉄筋の流動抵抗が及ぶ範囲を過大に評価する結果となり、無筋の型枠ではよく一致した流動挙動を示す試料でも、配筋された型枠内では、実験より流動しにくい結果となっている。

6. まとめ

本研究では、粘塑性空間要素法を用いて、小型壁状型枠内でのコンクリートの打設シミュレーションを行い、レオロジー性質や配筋が、流動挙動に与える影響について考察した。また、解析と同条件の小型壁状型枠内への打設実験を行い、型枠のサイズ、鉄筋の流動抵抗性、および試料のコンシステンシーが流動挙動に与える影響を、解析結果と比較した。実大型枠内での流動挙動と比較して、モデル実験での流動挙動はコンシステンシーや鉄筋量などの要因に対して敏感に反応するため、上面の勾配は急になる傾向があるなど、そのスケール効果については、今後さらに実験を行うことにより解明する必要がある。本解析では、型枠を2次元として取り扱ったため、型枠前後面のすべり抵抗性が考慮されていない。本実験で用いた試料の流動状況からこの影響は比較的小さいものと推測されるが、実施工条件の解析には、入力値として使用したレオロジー性質を、型枠前後面の影響を含んだ値とする必要がある。

[謝辞]

本研究費の一部は、平成2年度科研費・奨励研究(A)、同一般研究(B)によった。また、本実験を行うにあたり、寺西浩司氏(前田建設)の助力を得た。付記して謝意を表す。

[引用文献]

- 1) Tanigawa, Y., Mori, H. and Watanabe, K.: Analytical Study of Flow of Fresh Concrete by Suspension Element Method, Proc. of RILEM Colloquium, Properties of Fresh Concrete, Chapman and Hall, pp. 301-308, 1990.
- 2) 谷川恭雄・森博嗣・梅本宗宏・渡辺健治: サスペンション要素法によるフレッシュコンクリートの流動シミュレーション方法, 材料, Vol. 38, No. 431, pp. 900-905, 1989.
- 3) 谷川恭雄・森博嗣・林俊雄・渡辺健治・三輪正保: 粘塑性空間要素法による型枠内へのコンクリートの打設シミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A, pp. 245-246, 1989.
- 4) 谷川恭雄・森博嗣・林俊雄・渡辺健治・瀧田安浩: 粘塑性空間要素法による壁状型枠内へのコンクリートの打設シミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A, pp. 693-694, 1990.
- 5) 坂田昇・万木正弘・山本博之・古沢靖彦: 高流動コンクリートの充填性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 12, No. 1, pp. 301-306, 1990.
- 6) 谷川恭雄ほか: L型フロー試験による高強度コンクリートの流動性評価(その1: 粘塑性有限要素法によるシミュレーション), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A, pp. 253-254, 1989.