

論文

[1161] メタルラス及びエキスパンドメタル型わくを用いたコンクリートの性状

正会員 浦 憲親 (金沢工業大学)

1. はじめに

最近、コンクリート表層部の改善、高品質化、高耐久性を目的とした各種の透水性型枠[1]が注目されている。透水性型枠は、フレッシュコンクリート中の余剰水排出を促すことにより、密実なコンクリートを得ようとするものであるが、これは同時に、水セメント比の低減、ブリージングに伴う各種弊害の軽減にも寄与し得るものと考えられる。

ここで扱うメタルラス及びエキスパンドメタル型わく（以下、2種類同時に表す場合ラス型わく材と称す）は、前述の余剰水排出はもとより、一部セメントペーストをも漏出する。また、コンクリートの打込み面以外のコンクリート面が、外気に触れると言う問題がある。そのため耐久性の見地から、これらの型わくの適用部位は地中部分が望まれるとしている[3,4]。しかしながら、これらの型わくを使用することにより、その加工、組立及び解体作業が省略または削減できることから、建築現場での労働力不足と相まって、今後は地上構造部位への普及も考えられる。

本研究はメタルラス、エキスパンドメタル及び合板を用いて、それぞれ実大供試体用型わくを製作し、それに打込まれたコンクリートの性状及び当該コンクリートから切り取ったコア供試体の性質について実験的に検討したものである。

2. 実験概要

2.1 打込みコンクリート

ラス型枠工法のコンクリートは、スランプ15cm以下を勧めている[3,4]。ここでは、文献[5]を参考にスランプ 18cm、呼び強度240 kgf/cm²のレデーミクストコンクリートを使用した。細・粗骨材は手取水系産川砂（比重2.57、粗粒率2.60、最大寸法5mm）、川砂利（比重2.60、粗粒率6.88、最大寸法25mm）である。セメントは、O社製、比重3.16である。混練水は井戸水、混和剤はAE減水剤で、その実施調査を表1に示す。

2.2 実大供試体の概要

(1) 実大供試体の寸法、型わく材料及び型わくの支持

実大供試体は、図1(a)及び(b)に示す壁と床スラブの一部に金属製ボイド管を配置した門型で、それぞれの厚さが30cm、高さ90cmの無仮設薄肉床壁構造[6,7]とした。壁及び床スラブには、φ6,10及び19mmの異形鉄筋を用いた。

型わく材料としては、壁、床スラブともコンクリート用合板(厚さ:9mm)、メタルラス(JIS A 5505:リラス A-3号、厚さ:0.60mm)及びエキスパンドメタル(JIS G 3351:XS-31、厚さ:1.52mm)の3種類を用いた。型わくの支持は、主筋とのかぶり厚さが30mmとなるように20×15cmごとに行った。

(2) 実大供試体の製作、養生、表面仕上げ及び脱型

実大供試体のコンクリート打込みは、高さ方向で30cmずつ3層に分け、1層ごとに棒状と型枠バイブレーターにより締固め、製作した。養生は、大気中で暴露養生を行った。表面仕上げは、床スラブ上面だけ金コテを用いて行った。脱型は、合板型わくのみ打込みから4日後に行った。尚、φ10×20cmの標準供試体も関連

のJISに準じて採取し、所定材令まで標準養生を行った。

2.3 実験方法

(1) コンクリートの漏出量、漏

表1 レデーミクストコンクリートの実施調査

G _{max} (mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	重量調査(kg/m ³)				
				W	C	S	G	混和剤
25	18	57.5	47.1	177	308	831	944	0.77

出割合、pH、圧縮強度試験用供試体及びふるい分け

床スラブからのコンクリートの漏出量は、図1(b)に示すラス型わく材の底面に練り板を置き、打込みから2時間後に重量を測定した。漏出割合は、床スラブ部分60×130×30cmに打込まれた容積とコンクリートの実測単位容積重量から、漏出割合(%)=(漏出量(g)/打込み量(g))×100により算出した。pHは、漏出した試料から50gずつ採取し、蒸留水 100g加えたものをろ過した後、その上澄み液をJIS Z 8802に従って測定した。また、圧縮強度試験用としてφ7.5×15cmの供試体を各材令ごとに3本ずつ採取し、標準養生を行った。ふるい分けは、漏出したコンクリート試料の骨材分布を調べるために残りの試料をよく水洗いし、0.15mm以上のふるいに残る骨材を定重量まで乾燥させて行った。また、比較のために、10mm網ふるいでふるい分けも行った。

(2) 実大コンクリート供試体の引張りひずみ、温度、反発硬度、中性化深さ及び

型わくの膨らみの測定

図1に、ひずみ及び温度の測定位置を示した。引張りひずみは、壁内部のセパレーター(7mm棒:φ14mm)に2箇所ずつひずみゲージを張りつけ、予め求めた荷重とひずみの関係から算出した。コンクリート温度は、供試体内部に取り付けたCC熱電対を用いて打込み時から測定した。シュミットハンマーによる反発硬度[8]は、材令28日目に床スラブ上面で3cmに区切った16の交点で測定した。中性化深さは、材令91日目に床スラブ上面をハツリ取って行った。方法は、1%フェノールフタレン溶液を噴霧し、約24時間後に測定した[9]。型わくの膨らみは、材令28日で床スラブ底面の型わく支持間隔20×15cm角の対角線上の交点で測定した。

(3) コア供試体

図2(a)、(b)及び(c)に、中性化深さ、塩化物イオン浸透深さ、圧縮強度、細孔径分布の測定位置と試料の寸法を示す。

中性化試験は、温度30℃、湿度60%、

R.H、炭酸ガス濃度5%で行った。供試体の促進期間は、材令91日コアで30日間行った。測定は、φ7.5×30cm供試体を割裂し、その割裂断面で打込み面から2.5cmごとに行ない、22箇所の平均値を中性化深さとした。強度試験用のコア供試体は、実大供試体のボイド管のない位置の壁及び床スラブから材令28日と91日で

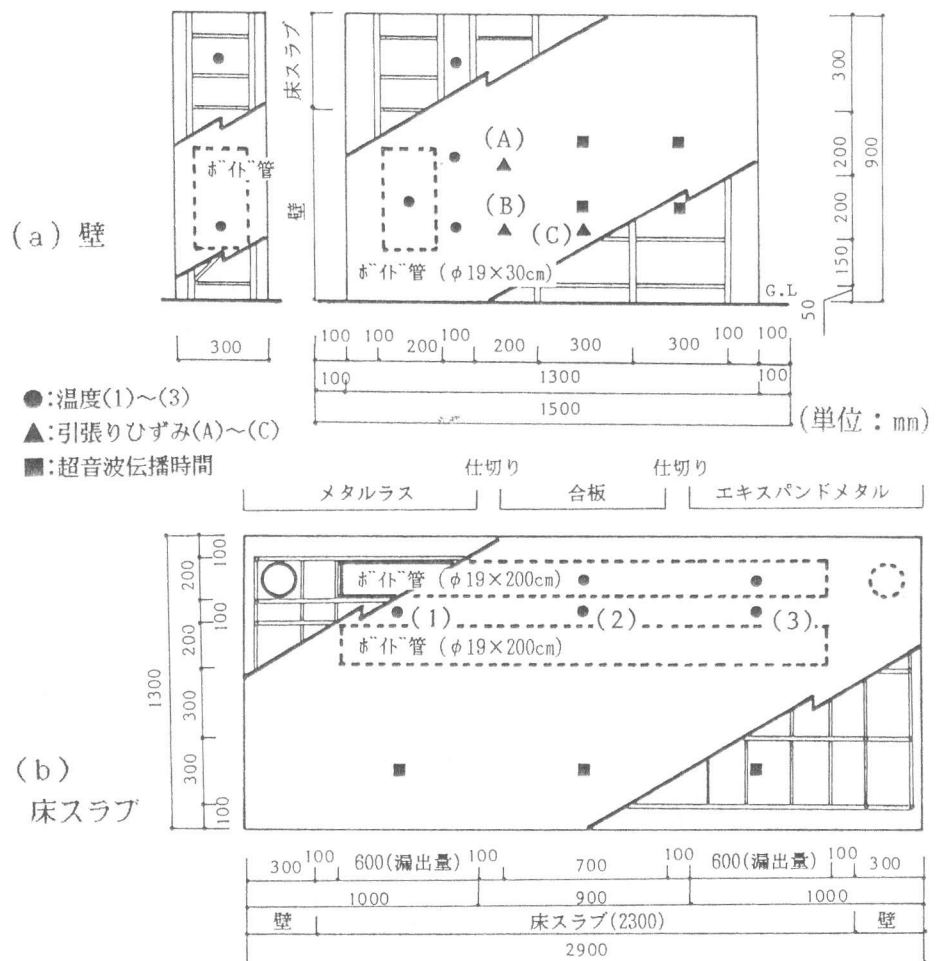


図1 実大供試体と温度及びひずみの測定位置

採取した。その後、図(b)に示す位置で直径の2倍の長さで両端を切断し、恒温恒湿室に3日間静置し圧縮強度試験用とした。切断したコア両端は、

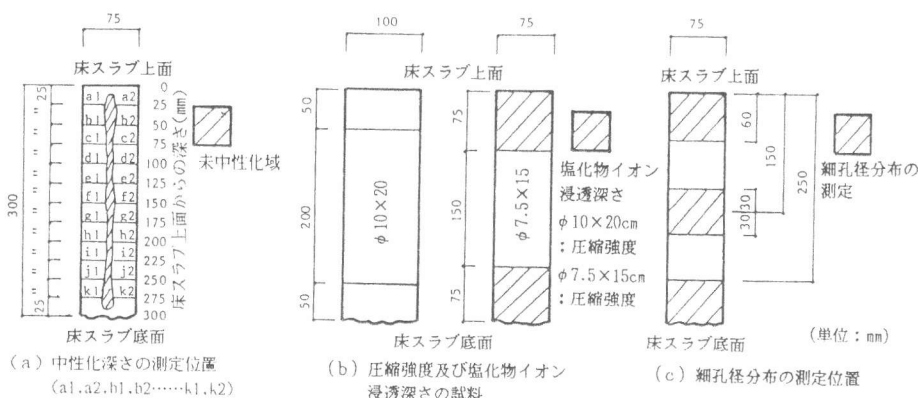


図2 中性化深さ、圧縮強度、塩化物イオン浸透深さ及び細孔径分布の測定位置
促進試験方向の1面を残す周囲をパラフィンで封をした後、別コアと組合せて塩化物イオン浸透深さの試料とした。塩化物イオン浸透深さは、コアの両端部分を3%塩化ナトリウム溶液中に21日間浸せきした。その後、割裂断面にUNI 7928 (Concrete-Determination of the Ion Chloride Penetration)に従い試薬を噴霧して色の変化を24時間後に測定し、平均値を浸透深さとした。測定位置は、割裂断面の中心とそれを挟んだ25mmの3箇所である。圧縮強度試験は、イオウによるキャッピングを行ってからJIS A 1108に準じて求め、平均値を圧縮強度とした。動弾性係数は、JIS A 1127に従って縦振動から求めた。細孔径分布測定の試料は、材令39日の床スラブのコアを用いた。試料は、図に示す上、中及び下層の3箇所から採取して、水銀圧入式ポロシメーター (Calro Erba社製220型) で細孔径37.5~75000Åの範囲を測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 打込みコンクリート及び床スラブから漏出したコンクリートの性質

表2に、打込みのフレッシュコンクリートの性質を示す。表3に、メタルラス及びエキスパンドメタル型わくから漏出したコンクリートの性質を示す。図3に、床スラブから漏出した骨材の粒度分布を示す。

フレッシュコンクリート(240-18-25N)の性質は、調合計画を満足し、単位容積重量は2.244(kg/l)である。ラス型わく材は、目があいていることから、コンクリートの一部が締固めの間に漏出する。また、打込み後しばらくは、床スラブの底面から透明な液体の漏れるのが観察される。

漏出したコンクリートの量は、床スラブ打込み量の約3%で型わくの違いによる顕著な差を生じないが、型わくの形状及び剛性によって異なる。pH値は、型わくが異なっても差を生じないが、pH=12~13を示すことから締固め等によってセメントペーストが漏れる[3]ことを表す。密度は、型わくの

表2 フレッシュコンクリートの性質

スラブ (cm)	単位容積重量 (kg/l ³)	空気量 (%)	温度 (℃)
17.8	2.244	3.5	22.0

表3 床スラブから漏出したコンクリートの性質

試験項目	型わく材料		備考
	メタルラス	エキスパンドメタル	
漏出割合 (%)	3.05	2.96	標準養生(φ10×20) σ ₂₈ =288(kgf/cm ²)
pH値	12.50	12.06	
圧縮強度(kgf/cm ²)	208	236	
密度(g/cm ³)	2.122	2.142	φ7.5×15

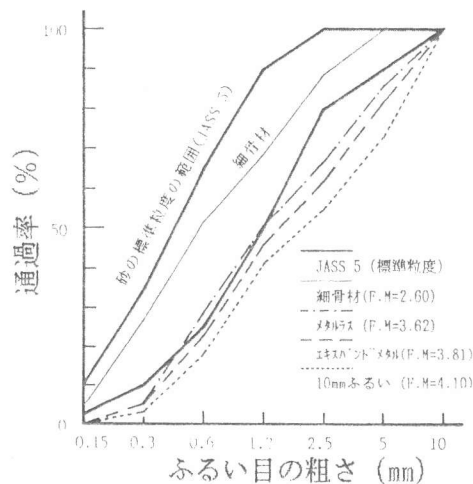


図3 ふるい分け粒度分布

違いによる顕著な差を生じない。圧縮強度は、標準供試体よりも低い、漏出した試料で余剰水を含むことや型わく寸法の違いも影響しているためと考える。粒度分布は、型わくの種類によって異なるが、砂の標準粒度[10]のほぼ下限値で、同一のふるい目では細骨材の通過率よりも10%以上小さくなる。その粗粒率は、細骨材よりもラス型わく材が1以上大きくなることから、寸法10mm前後の骨材も漏れることを表す。

3.2 実大供試体の性質

表4に、床スラブのコンクリートの性質を示す。図4及び5に、打込み経過時間とコンクリート温度(床スラブの中心:GLより750mm)及びセパレーターの引張りひずみ(壁の中心:GLより200mm)の一例を示す。

反発硬度は、合板型わくよりもラス型わく材の方が僅かに大きくなる。その推定圧縮強度[8]は、合板、エキスパンドメタル及びメタルラス型わくを用いたコンクリートで、それぞれ177、194及び200kgf/cm²となり、床スラブから漏出したコンクリートの圧縮強度より僅かに小さい。従って、推定圧縮強度を実際の構造物に適用する場合、床スラブから漏出したコンクリートの圧縮強度を利用すると安全側で推定できるが、標準供試体よりも低いので注意を要する。中性化深さは、型わくの違いによる顕著な違いが見られず材令91日で約1mmを示す。

コンクリート温度は、型わくの種類に関わりなく打込み後、約10時間で最大となる。温度は、周囲が外気に晒されるラス型わく材よりも合板型わくが約4℃高いが、50時間以後は差が徐々になくなる。しかし、打込み初期では、ラス型わく材の放熱が良いことから養生方法に注意する必要がある。引張りひずみは、温度と同じく打込み後、約10時間で最大となる。それ以後の変化は、外気温の影響を受けて約24時間周期で増減する。打込みから10時間の荷重は、メタルラス、エキスパンドメタル及び合板型わくで、それぞれ94、117及び152kgfとなり、目のあいたラス型わく材は当然低く、剛性の高い型わくほどひずみが大きくなる。特に、打込み10時間以後のコンクリート温度とセパレーターの引張りひずみは、24時間周期で外気温の変化に約5時間遅れて追従する。

床スラブ底面の膨らみは合板型わくで見られない。ラス型わく材の膨らみは、支持間隔20×15cm角の交点で約5mmであるが、20×20cm角にすると交点で10mm以上になるので支持間隔を注意する必要がある。しかし、実際の建築物で表面をデザインとして利用したり、仕上などをする場合は地上構造物に適用しても問題のな

表4 床スラブの性質

試験項目	型わく材料		
	メタルラス	エキスパンドメタル	合板
反発硬度 (28日)	29.5	29.1	27.8
推定圧縮強度 (kgf/cm ²)	200	194	177
中性化深さ (mm) (91日)	1.08	1.23	1.14

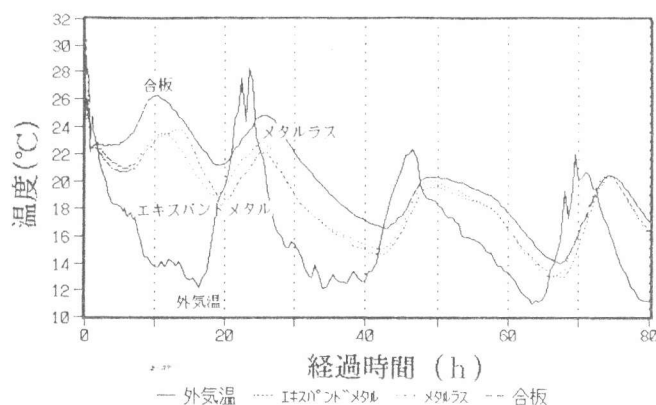


図4 床スラブの打込み経過時間と温度
(GLより750mm, No.1~3点)

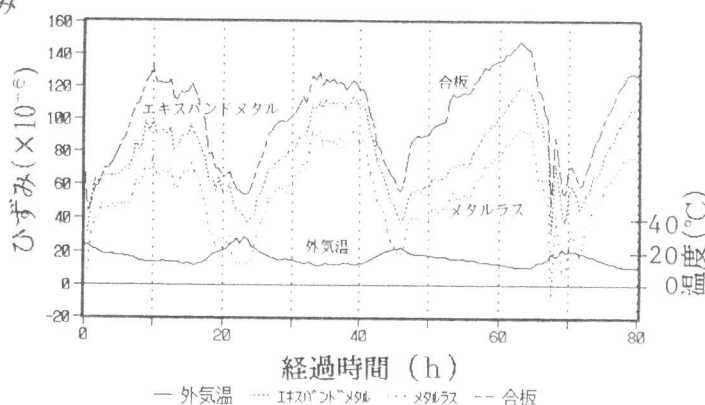


図5 壁の打込み経過時間と引張りひずみ
(GLより200mm, No.C点)

い不陸と考える。

3.3 コア供試体の性質

表5に、コア供試体の性質を示す。図6に促進試験した中性化深さの一例、図7に細孔径分布を示す。

塩化物イオン浸透深さは、壁及び床スラブのコンクリートに関わりなく、ラス型わく材を用いると合板型わくより大きくなる。従って、表面をコテ仕上げなどで平滑に仕上げることも塩化物イオン浸透深さを小さく出来ると考える。また、同じ型わく材では、壁よりも床スラブの方が約2～3倍塩化物イオン浸透深さが大きくなるが、コンクリートの圧密が影響したと考える。従って、ラス型わく材とボイド管を建築構造物に併用する場合、塩化物イオンの浸透は、ボイド壁では問題にならないが、ボイド床ではボイド管及び主筋の腐食対策から別の評価規準が必要と考える。

圧縮強度は、採取部位及び型わくの種類により異なるが、その値は、材令とともに増加し、漏出したコンクリート及び推定圧縮強度よりも20～30%上回る。また、ラス型わく材を用いたコンクリートでは、材令、採取部位に関わりなく型わくの剛性が高いエキスパンドメタル型わくの圧縮強度が大きくなる。壁及び床スラブ内部のコンクリートの品質は、動弾性係数から調べた場合、標準供試体よりも下回るが、スランブ18cmでもラス型わく材は合板型わくと同等かそれを上回る。

中性化深さは型わく材料で異なる。壁の中性化深さは、コア両端部から5cmまでと5cm以上内側で異なる。その値は、エキスパンドメタル、メタルラス及び合板型わくのコンクリートで、それぞれ6.01、6.74及び8.46mmとなる。床スラブの中性化深さは、壁と大差ないが、中性化の傾向が異なる。エキスパンドメタル型わくは、上端2.5cmから下端27.5cmまでほぼ均質に中性化する。メタルラス型わくは、上端から約15cmまで中性化が増加し、以後は下端まで一定する。合板型わくは、上端から下端までの中性化は深いがほぼ一定する。従って、層の薄い建築構造物にボイド壁及びボイド床を適用する場合、型わく材料によって中性化の傾向が異なるので注意が必要である。また、仕上げのない場合、現状の10～20mm[3]かぶりをふかす方法で十分と考える。

細孔量は、ラス型わく材を用いると中層で最小となるが、合板型わくでは下層になるほど大きくなる。このことは、ラス型わく材を用いるとほぼ均質にセメントペーストを含んだ余剰水などが抜けるが、合板型わくでは、下層に余剰水などが溜まりコンクリートの構造組織を粗くしている。総細孔量は、合板型わくに比べてラス型わく材の方が約8%小さく、空隙が少なく水密性であることを現す。その値は、合板、メタルラス及びエキスパンドメタル型わくを用いたコンクリートの順に小さくなる。細孔径分布の形においては、型わくの種類及び採取位置によって、特定の径の細孔量が増加あるいは減少するが、型わく種類に関わらず細孔径100Åと1000Åで卓越している。

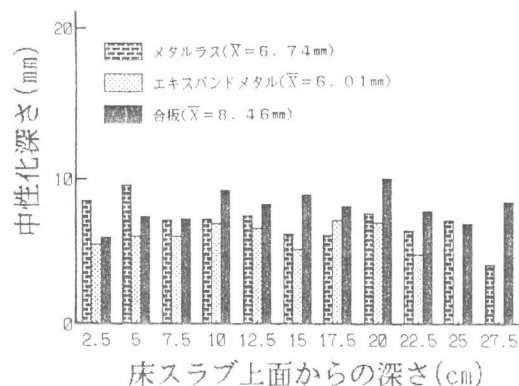


図6 型わく材料別中性化深さ
(床スラブ：材令91日)

表5 コア供試体及び標準供試体の性質

材令	部位	型わく材料	圧縮強度 (kgf/cm ²)	動弾性係数 ×10 ⁵ (kgf/cm ²)	塩化物イオン 浸透深さ (mm)
28日	壁	メタルラス	197	2.821	10.31
		エキスパンドメタル	192	2.824	11.31
		合板	293	3.013	8.14
	床	メタルラス	236	3.011	21.39
		エキスパンドメタル	280	2.916	22.83
		合板	198	2.957	13.48
91日	壁	メタルラス	239	2.575	—
		エキスパンドメタル	252	2.422	—
		合板	245	2.582	—
	床	メタルラス	284	2.623	—
		エキスパンドメタル	294	2.652	—
		合板	247	2.626	—
28日	標準養生	標準供試体 φ10×20cm	286	3.332	—
91日			338	3.508	—

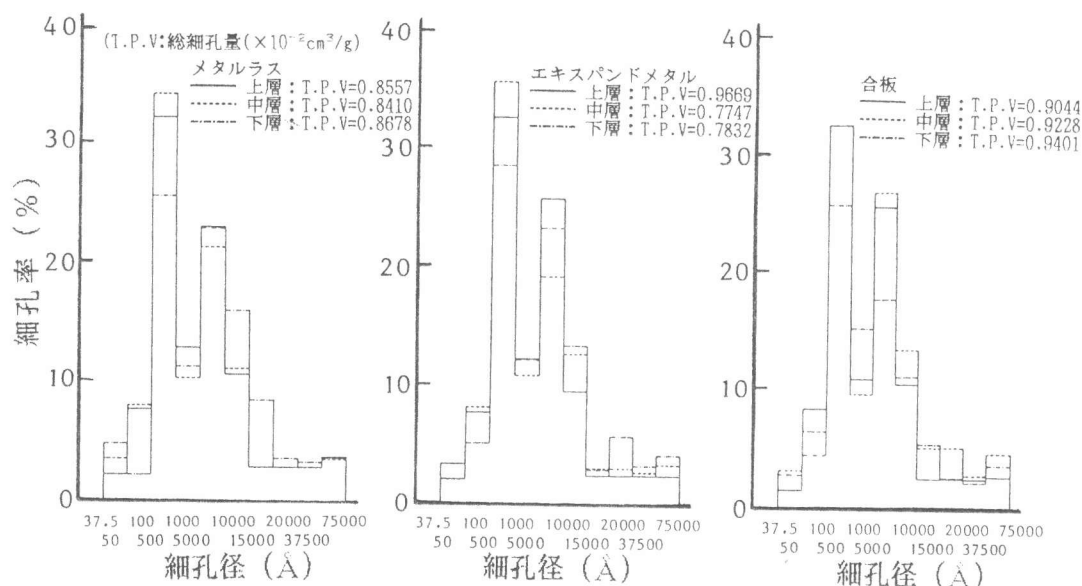


図7 型わく別の細孔分布

4. 結論

メタルラス及びエキスパンドメタル型わくを用いたコンクリートについて、得られた結果を要約すると以下の通りである。

- 1) ラス型わく材では、打込みコンクリート量の約3%が余剰水、セメントペースト及びモルタルとして漏出する。漏出したコンクリートの圧縮強度は、メタルラスよりもエキスパンドメタル型わくが上回るが、標準供試体よりも下回る。
- 2) 実大供試体のセパレーターの引張りひずみ及びコンクリート温度は、打込み10時間で最大で、メタルラス、エキスパンドメタル及び合板と型わくの剛性の高い順に大きくなる。コンクリート温度は、ラス型わく材が合板型わくに比べて、打込み初期で4℃以上低くなる。
- 3) コア供試体の中性化深さは、壁と床スラブで差がなく、エキスパンドメタル、メタルラス及び合板型わくの順に大きくなるが、中性化の傾向は型わく材料によって異なる。塩化物イオン浸透深さは、壁の場合、型わく材の違いによる差を生じないが、床スラブの場合、同一型わく材の壁よりも約2～3倍深くなる。総細孔量は、合板型わくよりもラス型わく材が約8%小さくなる。細孔量は、合板型わくでは下層ほど多いがラス型わく材を用いると中層が最低となる。圧縮強度は、漏出したコンクリート及び推定圧縮強度よりも20～30%上回る。スラブ18cmのコンクリートの品質は、ラス型わく材を用いても合板型わくと同等かそれ以上であるが、ラス型わく材とボイド管を併用する場合、強度以外の評価基準が必要である。

【謝辞】

常日頃、御指導を頂いている日本大学 福地利夫先生、大濱嘉彦先生、渡澤正典先生に心から感謝致します。また、実験を行うにあたりT I S & パートナース、株式会社栗本鉄工所、丸与地域計画株式会社の方々に御協力を頂きました。

【参考文献】

- 1) 建築技術[特集]；各種型枠工法の高品質化施工，建築技術，No.470, pp.122-142, 1990.7
- 2) 日本建築学会；型枠の設計・施工指針案 第4章 型枠工法，pp.80-150, 1988.7
- 3) 既出2)；ラス型枠工法，pp.84-85
- 4) 江川常次郎；ネット型枠，建築技術，No.408, pp.65-74, 1985.8
- 5) 薄肉構造研究会；無仮設薄肉床壁構造の調査・研究 型枠の相違によるコンクリートの性質（基礎実験1），薄肉構造研究会，pp.6-8, 1990.8
- 6) 高山 誠、今川憲英、藤田一雄、西本靖士；ネットとラチスフレームによる無仮設工法，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.277-280, 1988
- 7) 鍋割敏男、高田博尾；透水型枠システム(FSX)に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.493-494, 1988.10
- 8) 日本材料試験協会・実施コンクリート強度判定法委員会；シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針（案），材料試験，第7巻，第59号，pp.40-44, 1958.8
- 9) 岸谷孝一、西沢紀昭；コンクリート構造物の耐久性シリーズ「中性化」，技報堂，pp.5-6, 1986.8
- 10) 日本建築学会；建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，日本建築学会，p.9, pp.126-127, 1986.11