

論文 セメント系押出成形部材を用いた打込型枠構法の提案

馬場 明生^{*1}・大久保 孝昭^{*2}・守 明子^{*3}・在永 末徳^{*4}

要旨：地球環境の保全、施工の省人化、建築物の耐久性能の向上等の要求から合板型枠を用いた在来的な鉄筋コンクリート建築構法と代替できるオープンシステム構法としてセメント系の押出成形部材をせき板とする打込型枠構法を提案する。さらに同構法のための部材を試作し、基本的な性質と材料・調合との関連について実験により明確にし、同部材の新しい鉄筋コンクリート構法に対する適性についての実験結果を報告する。

キーワード：押出成形、打込型枠、型枠材料、地球環境、空隙セメント比、曲げ強度

1. はじめに

合板型枠は施工しやすさや多様な建築物に対する適応性等の面において優れており、現在、熱帯雨林保全のための代替構工法が求められているにもかかわらず、広く適用できる新構法についてはあまり明確ではない。ここでは、施工現場における不要な工程を省略することや生産物としての建築物の耐久性の向上にも効果的であると考えられる打込型枠構法のためのせき板としてのセメント系の押出成形部材の活用について、生産技術・材料の性能および部材性能の面から、実験および調査研究を実施した。その結果、セメント系押出成形部材は打込型枠構法に適用できること、ならびに優れた建築構造体を実現する基本的な方向性が明確になった。

2. 打込型枠部材としての要求条件

開発に当っては、せき板としてのセメント系押出成形部材の合板型枠代替材としての適合性を検討する。他に、建築構法として求められる性能および施工上の条件を表1のように設定した。同表に設定した型枠構法としての要求事項を実現するために、打込型枠部材としての曲げ強度・密度・中性化傾向・吸水性状・プレストレス力導入による強度上昇効果等について実験により確認した。表1に示したように型枠部材の工場生産における自動化、ロボットを活用できる新しい時代の施工において望まれる軽量化、並びに優良社会資本の蓄積のために必要な耐久性の向上の観点からセメント系押出成形部材は優れていると予測される。ここでは部材を試作して曲げ性状・吸水性状等のせき板としての基本性能を確認すると同時に、実機生産による実大部材の性質についても実験を行った。

3. 実験方法

実験は主として、以下に示す3つのタイプの材料およびシリーズを採用した。

- 1) セメント系の押出成形部材を固体材料の構成比を一定とし、水セメント比・水量を変化させて試作し、曲げ強度・密度・吸水性等を実験により確認する（シリーズ1）。
- 2) 実機製造による実大部材の曲げ強度・中性化速度等を実験により確認する（シリーズ2）。

*1 建設省建築研究所第4研究部施工管理研究官・工博（正会員）*2 同所同部施工技術研究室主任研究員・工博（正会員）*3 通産省工業技術院九州工業技術研究所ファイン素材部環境材料研究室主任研究官（非会員）*4 近畿大学工学部建築学科教授・工博（正会員）

3) 省支保工化のためのプレストレスト型枠部材の可能性を確認する（シリーズ3）。

実験項目および方法の概要は表4に示す。シリーズ1の試験体としては、普通ポルトランドセメント・豊浦標準砂をセメント砂比1.00とし、増粘剤としてメチルセルロース（全構成材料に対する質量比を1%）、繊維質添加材としてクリソタイル（同5%）さらにその代替として同体積比のセピオライト・アラミド・カーボン・ポリプロピレン繊維を加えて、水量を押出成形の可能な広範囲（水セメント比で0.227～1.000）とした小形部材（断面12×60mm）を小型の押出成形機（Honda DE50、スクリー径50mm）によって製造し、20℃の下で1日湿空・材令28日まで水中養生したものを用いた。シリーズ2の試験体としては、表2に示す7種類の製品について曲げ強度・密度・中性化傾向等を測定した。なお比較のために他の成形方法による代表的な高曲げ強度セメント系部材についても実験した。シリーズ3では表3に示す製品について主として部材の見掛けの曲げ強度の増大傾向について実験により確認した。

4. 曲げ強度に関する実験結果と考察

4. 1 曲げ強度と密度との関係

表1 合板型枠代替部材としての要求事項と型枠部材としての性能設定

要 求 事 項	解 決 策	設 定 性 能 等
生産技術の自動化	連続型生産	スクリー型押出成形製造技術
自動化施工しやすい部材	曲げ比強度の増大	8 MPa / (g/cm ³) 以上の曲げ比強度
耐久性・耐火性のある材料	無機系材料	セメント系材料
設計の自由度の向上	構造補強筋を含まない打込型枠部材	厚さを2～3.5cm、モジュール化
鉄筋コンクリート部材としての耐久性および耐火性	コンクリートのかぶり厚さの確保	かぶり厚さ≥20mm且つ劣化物質の浸透抑制できる型枠の材質
コンクリートとの複合体としての性能向上	コンクリートとの接着一体性	コンクリートとの接着強度>2MPaまたはコンクリートの圧縮ひずみ1000μに対して一体的
仕上部材としての安全性	使用時に剥落しない	コンクリート型枠材との接着が破壊したときに落下しない

表2 実験に用いたセメント系型枠部材の概要（シリーズ2）

記 号	種 類	試験体寸法(mm)	空洞率(%)	圧縮強度(MPa)
EL1	セメント系押出成形空洞断面パネル	295×25×1600	42.6	99.9
M	同 上	590×60×3100	50.7	92.5
N	同 上	592×75×3100	45.9	80.6
S	セメント系押出成形リブ付パネル	455×50×3100	—	36.1
J	粘結材系押出成形空洞断面パネル	392×60×3100	41.6	134.2
A	ダイレクトスプレーGRCパネル	550×15×1600	0	62.0
T	型枠流込み薄肉パネル	455×20×1600	0	—

各種の材料構成の押出成形部材の曲げ強度と表乾密度との関係を図1に示す。全体として20 MPaを越える高い曲げ強度の実現の可能性が示されている他、繊維質添加材の種類によらず、密度と曲げ強度との間の関連性が大きいこと、すなわち製造時において密度管理が重要であることがわかる。したがって、所要の密度を実現できる繊維の種類および形状を選択することが重要である。さらに、表1に示した曲げ比強度を8 MPa以上とする目的のためには、密度を2.00 g/cm³とすることが必要であることがわかる。図2に実大部材から切り出した素材の曲げ強度と密度との関係を、図1に示した同様の関係のうち押出成形にとって標準的な材料との比較において示す。同図から実大部材の強度は、シリーズ1の試作実験による部材より高性能であること、また、実大部材の曲げ強度は押出成形されたものに限れば素材の曲げ強度より小さいものの、試作実験の部材（シリーズ1）とほぼ同程度とできることが示されている。

4. 2 曲げ強度の決定要因

打込型枠部材を製造する場合、確実に性能を実現するためにはその性能を決める要因について明確にしなければならない。図3は、各種の繊維を用いた材料を用いたセメント系押出部材の曲げ強度の決定要因について検討した結果、空気量を同等の水量に換算したときに求められる有効水セメント比によって決定できること（空隙セメント比説）を示している。図4は同関係を有効セメント水比によって単純な線形で求められることを示し、実現できる曲げ強度の範囲が調合と

表3 実験に用いた押出成形部材（シリーズ3）

記号	種類	試験体寸法(mm)	空洞率	圧縮強度(MPa)
N35	セメント系押出成形空洞断面パネル	335×35×1200	30.5	80.5
N50	同上	368×50×1200	50.5	82.0
N100	同上	366×99×1200	53.5	82.1
J15	粘結材系押出成形空洞断面パネル	120×15×1200	31.5	117.6

表4 実験項目

シリーズ番号	実験項目	試験体寸法(mm)	備考
シリーズ1 (試作部材)	曲げ強度 (各種繊維)	12×60×150 (曲げスパン120)	1点集中
	密度 (各種繊維)	12×60×150	水中28日養生時の表乾密度
	吸水性状	12×60×75 (吸上げは12×60面から)	水中28日後室内放置・材令1年 一部にシリカヒューム(SF)・フライアッシュ(FA)添加
シリーズ2 (実機による部材)	実大曲げ強度	表2の断面 (曲げスパン1300, 2800)	4等分点2点厚さ40mm以上では2800mm 厚さ40mm未満では1300mm
	素材の曲げ強度	厚さ10～12	実大部材から切出、圧縮強度も測定
	促進中性化	表2の断面	実大部材を切断 20℃, 60%RH, 5%CO ₂
シリーズ3 (補強)	実大曲げ強度	表3の断面 (曲げスパン1000)	導入応力は圧縮強度の5, 10, 30, 50% PC鋼棒は板厚の中心位置

の関係で求められることを示している。同図より、繊維の材質・形状等を選定することによって、曲げ強度20～30MPaの打込型枠部材の調合条件を明確にできる。

5. 中性化傾向・吸水性に関する実験結果と考察

打込型枠に用いる部材は、施工後において構造部材の表層部を形成することになるので、部材の耐久性に大きく影響する。耐久性能としては多くの面からの検討が必要であるが、ここでは基

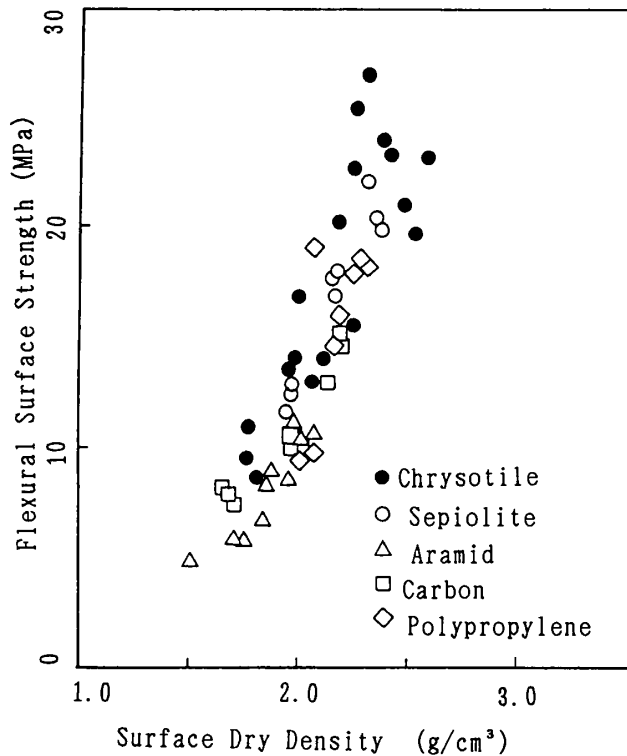


図1 押出成形試作部材の曲げ強度と密度との関係 (シリーズ1)

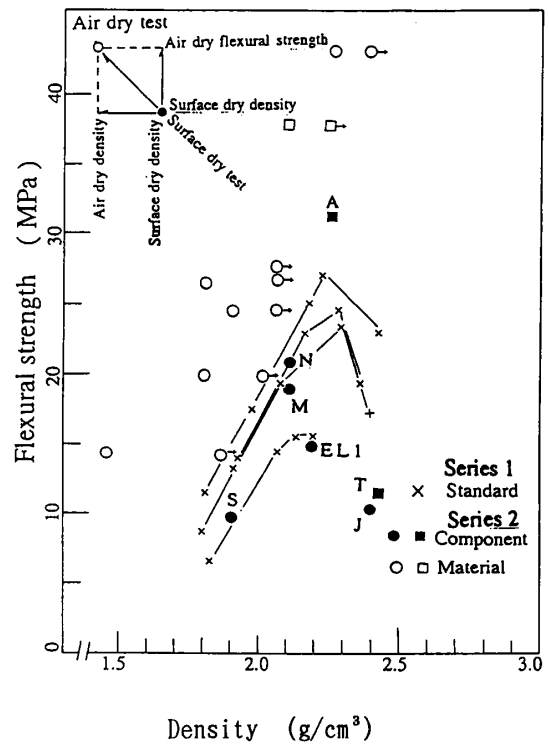


図2 実機による押出成形部材の曲げ強度と密度との関係 (シリーズ2)

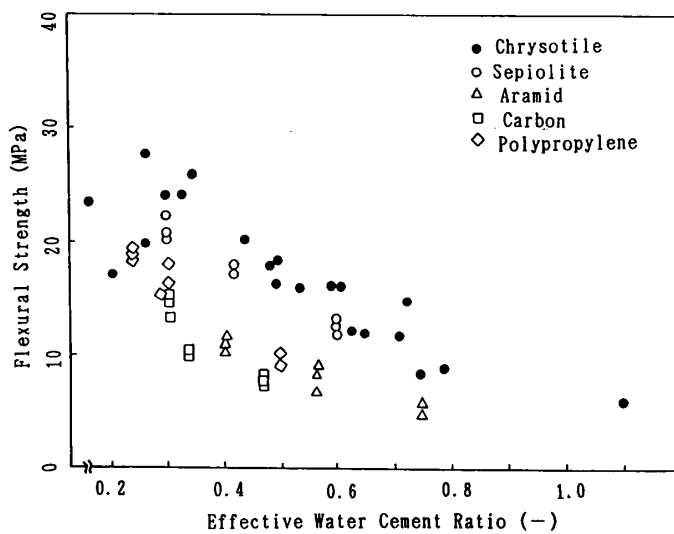


図3 押出成形試作部材の曲げ強度と水セメント比との関係 (シリーズ1)

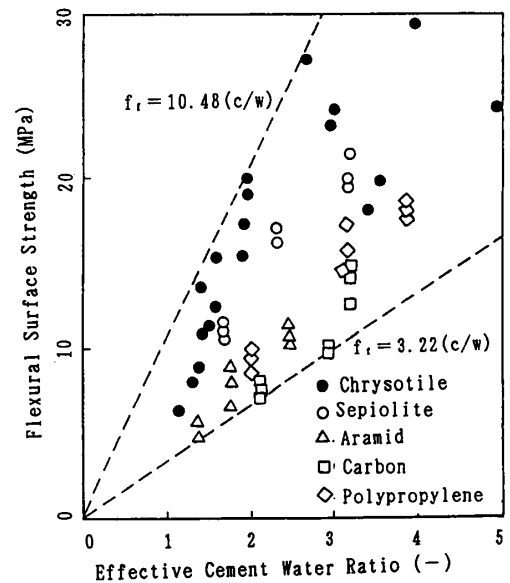


図4 押出成形試作部材の曲げ強度と水セメント比との関係 (シリーズ1)

本的な中性化傾向と吸水傾向とについて実験により確認した。

図5は実大部材の圧縮強度と中性化速度係数との関係を示す。押出成形では他の成形方法と比較して緻密な部材を製造できるので、実大部材では圧縮強度が大きく、中性化しにくい傾向となった。これによって内部のコンクリートの中性化は著しく遅くなると考えられ、物理的な寿命の増大に大きな効果がある。図6はシリーズ1の試作実験による部材の砂セメント比一定のときの水セメント比と吸水率との関係を示す。セメント系の押出成形部材の吸水率は20～40%volであり、水セメント比によって大きく変化する傾向となった。また、表面からの水の吸い上げ水量を体積百分率によって示す。概ね吸上げ水量が小さい傾向となったが、水セメント比が大きくなると水の吸上げ傾向が大きくなるが、そのような傾向はシリカヒューム等の混和によって改善できることがわかる。

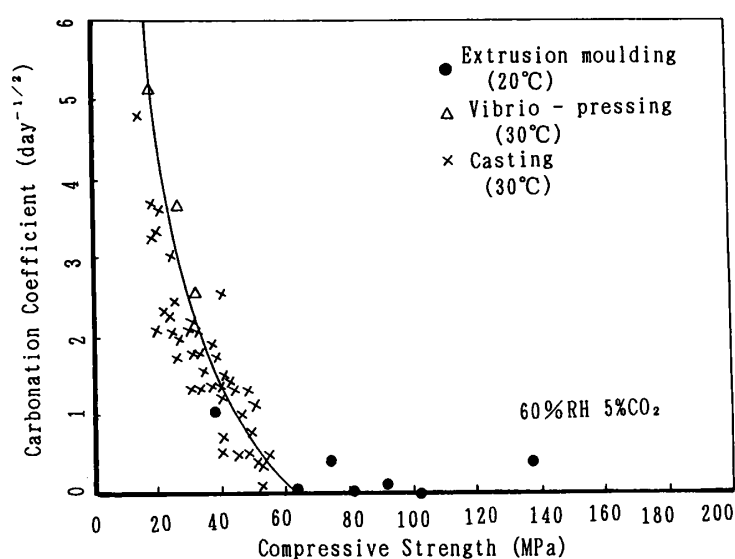


図5 押出成形部材の中性化速度係数と圧縮強度との関係（シリーズ2）

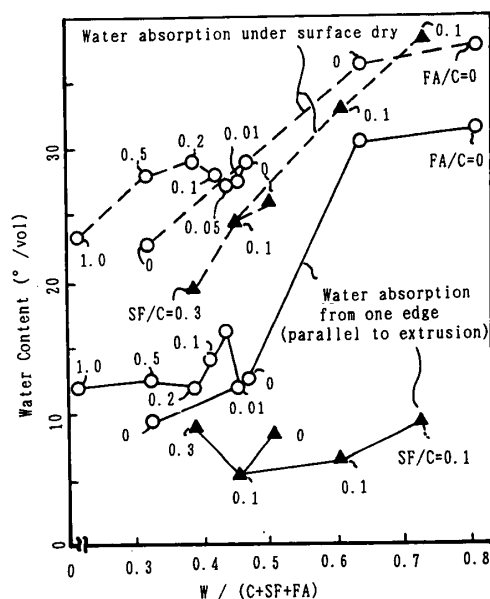


図6 押出成形試作部材の吸水率と吸上げ性状と水セメント比との関係（シリーズ1）

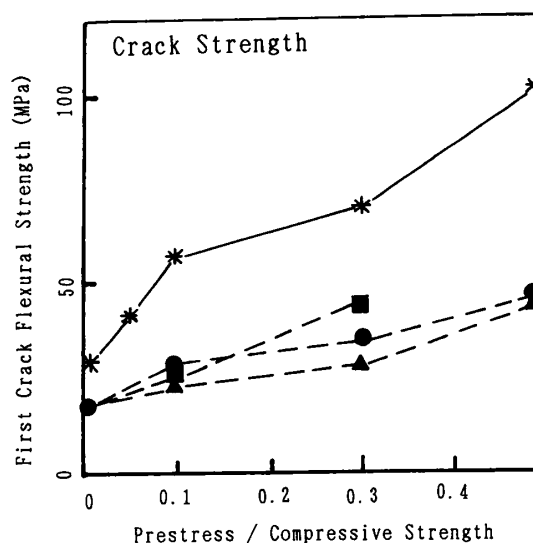
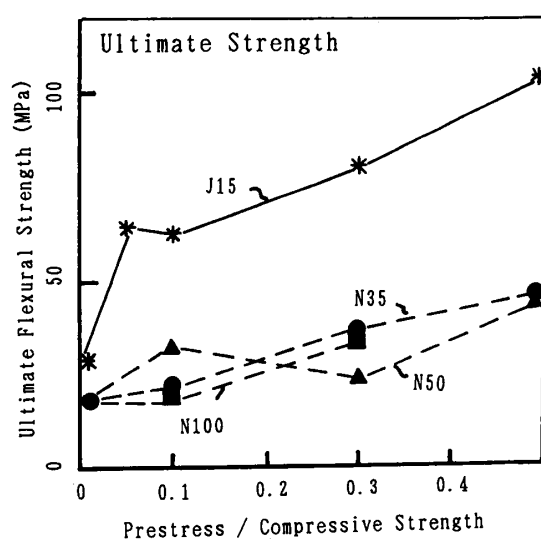


図7 プレストレス力導入による押出成形部材の曲げ強度増大効果（シリーズ3）

6. 補強による面外曲げ性能の向上効果に関する実験結果および考察

曲げ性能の向上は、床や梁の施工のための省支保工技術の前提となる。そのため材質2種類および断面寸法を変化させた実大部材にプレストレス力を導入した時の見掛けの曲げ強度（終局時およびひび割れ時）と導入プレストレス応力の圧縮強度に対する比との関係を図7に示す。同図より、高強度部材に高レベルの応力を導入することによって、100MPaを越える部材を実現できることがわかる。このような効果を活用することによって省支保工化が容易になると考えられる。

7. まとめおよび今後の課題

以上、セメント系押出成形部材の曲げ性能・躯体保護性能並びに省支保工化のための高次元の曲げ性能に関する基礎的な実験について示し、これらの優れた材料性能を生かして現実の構工法を開発するための基本的な方向性について明らかにした。しかし、このためには多くの研究が必要であるが、以下の事項について明確にする必要があると考える。

- 1) 押出成形打込型枠部材とコンクリートとの複合部材の曲げ性能の明確化
- 2) 同複合部材の乾湿・温冷ムーブメント性状の解明
- 3) 型枠部材とコンクリートとの一体性向上技術の開発

第1の点に関しては、曲げおよび引張強度の大きな板状材料でコンクリートを補強した複合材料を床板として用いる場合の設計方法を確立することによって施工ロボットの作業環境を整備できる。これは施工の省人化のための基本的技術である。

第2の点は、前述の複合した床の耐力のみならず、本構法の柱梁部材における型枠部分の剥落防止のために確立しなければならない技術であり、本構法の普及にとって基本的に重要である。

第3は、型枠部材を耐久性上のかぶり厚さとして活用する場合に必要なコンクリートに対する接着力、さらに剥落防止という安全性能上必要な緊結力という2つのレベルの一体性を実現するために両方材料の一体性を確実化できる技術開発が強く求められる。

参考文献

- [1] 守明子他、押出成形により製造されるセメント系建築材料の曲げ強度決定要因、日本建築学会構造系論文集第456号、1994年2月 [2] 馬場明生他、自動化適合型鉄筋コンクリート構法の開発(1)、日本建築学会大会、1991年9月 [3] 千歩修他、同題(14)、同大会、1992年8月 [4] 渡部嗣道他、同題(19)、同大会、1992年8月 [5] 讃岐郁夫他、同題(76)、同大会、1994年9月

謝辞 本研究は建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」(建築分野)型枠新材料WGで実施されたものであり、同プロジェクト建築部会長 岸谷孝一博士、自動化適合型構法分科会会長 上村克郎博士、同WG委員長 山本康弘博士の御指導、同WG参加会社各位の御協力に感謝致します。