

コンクリート若材令時における型枠・支保工の転用

高崎 哲哉*

要 旨

近年の建築工事は、工期的制約が厳しい物件が多く、工期短縮の方策が強く求められている。この方策の一つとして、鉄筋コンクリート躯体工事に着目し、コンクリートの若材令時にスラブの型枠・支保工の資材を早期に解体し、その直上階に転用させる工法を立案した。この工法によって、次工程の早期着手および支保工材料の削減を行うことができる。

この工法実現化にあたり、以下に示す事項を実施した。建設省告示¹⁾の中の一つの項目を活用し、コンクリートの若材令時に支保工を早期解体する工法計画の立案、鉄筋コンクリート部材に対する既往の耐力算定式が若材令コンクリートにも適用できることを確認する目的で行った構造実験、この工法を実施するための検討手法および品質管理手法の確立。これらの結果を踏まえ、この工法を共同住宅工事に適用した。適用にあたっては、所要品質管理手法に基づき施工を行い、これまで不具合発生²⁾の報告はない。

1. はじめに

建築工事に於いて、省力化・工期短縮は重要な課題であり、工期短縮の一つの手段として在来工法の代替工法がこれまで数多く開発されている。たとえばRC構造に例をとると、代替工法としてプレキャスト工法があるが、コストアップに結びつくことが多く、その採用は見送られる場合が多い。そこで、在来工法を運用する中で、工期短縮を可能とする方法を試みた。具体的には、RC造の共同住宅を対象を絞り、建設省告示¹⁾に基づいた、RCスラブの型枠・支保工の早期解体工法の開発である。

本報告は、コンクリート若材令時に型枠・支保工を解体・転用させる工法の紹介と、実施した構造実験、工法検討手順および品質管理手法を中心に述べるものである。

2. 法的規制と工法の概要

型枠・支保工の存置期間は、建設省、建築学会、住宅都市整備公団、各官庁、各地方自治体、各設計事務所等により各々定められ、運用されている。以下に、現在行われている一般的な工法および本報告の目的である工法、その根拠となる建設省告示についての概要を述べる。

2.1 一般的な工法

一般的に行われている型枠・支保工の転用手順を図-1に示す。コンクリートの圧縮強度の管理は、材令4週で設計基準強度を満足することが条件であるため、テストピースの4週圧縮強度により確認するが多い。そのため、1フロアーの基本構築サイクルによっては、型枠・支保工資材を二つ上、あるいは三つ上の階に転用する必要から、これに応じた資材を準備・投入しているのが現状である。

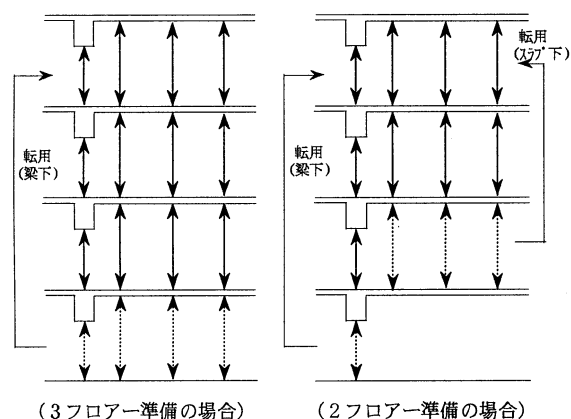


図-1 型枠・支保工の転用(一般)

2.2 建設省告示

建設省告示第1655号¹⁾(昭和63年7月):「現場打コンクリートの型枠及び支柱の取りはずしに関する基準」では、RC造建築物の工事においてスラブ下の型枠・支保工の存置期間は、以下の ~ のいずれかによるべく規定されている。

存置期間中の平均気温が5 未満のとき28日以上
 同上平均気温が5 以上15 未満のとき25日以上
 同上平均気温が15 以上のとき17日以上
 コンクリート強度が設計基準強度の85%以上
 コンクリート強度が12N/mm²かつ施工中の荷重および外力によって著しい変形または亀裂が生じないことが構造計算により確かめられること

実際には2.1で述べたように、 の日数規定と の強度規定を併用した状態で運用されることが多く、 の

* 東京支店

構造計算規定の運用は少ない。計画した工法は、この告示による規定を採用し、コンクリート強度の最小値を確認するとともに、構造計算によって施工中の荷重および外力による著しい変形または亀裂が生じないことを確認する方法を採用している。

2.3 工法の概要

計画した工法を図-2に示す。これは、スラブの型枠支保工を(概ね)1フロア分のみ準備し、スラブを受けるサポートや型枠(の大半)を所要の材令またはコンクリート強度の発現(設計基準強度の85%以上)を待たずにコンクリートの若材令時(材令5~10日程度)に取りはずし、その直上階へ転用させ、資材の投入数量を減少させる工法であり、以下の2通りの方式がある。

全数除去方式：スラブの支保工をコンクリートの若材令時に全て除去する方式

一部残置方式：スラブの支保工を余分に設置して直接コンパネを支え、残りの根太、大引を受ける通常サポートをコンクリートの若材令時に除去する方式

どちらの工法が採用できるかについては、4章で述べる検討フローの中の仮定条件による。また、本工法により下記に示す効果が期待できる。

- サポートの早期除去による型枠作業日程の短縮
- サポートの早期除去による設備工事、仕上工事等後工

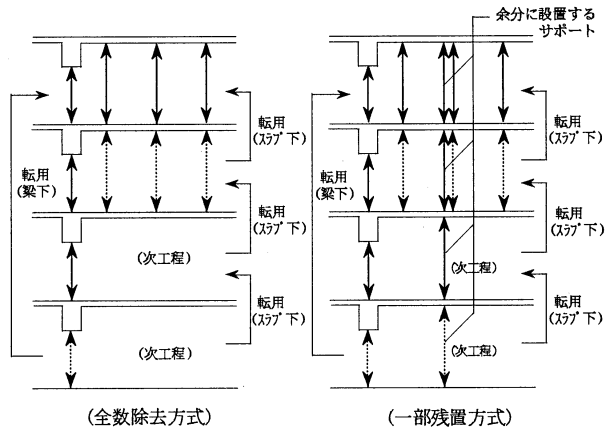


図-2 計画した転用工法

- 程の早期着工
- 資材運搬費, 資材損料の削減
- 資材を上階へ転用するための人件費の削減

3. 構造実験による把握

2.3に示した工法は所要のコンクリート強度が発現した場合に適用できるものであるが、これが若材令コンクリートに適用できるか否かについては、十分に解明がなされているとは言い難い。一方BCSの共同研究^{6),7)}において、型枠の存置期間に関し若材令コンクリートの圧縮強度、弾性係数、乾燥収縮、ヤング係数、中性化等の研究がなされているが、若材令コンクリートの構造実験を行った研究例は少ない。そこで、本工法の有効性および安全性を確認する目的で、若材令コンクリートを用いた構造実験を実施した。

3.1 実験目的と概要

実験は、材令(3)、4、5、7、28日のコンクリートの圧縮、割裂、付着、曲げひび割れの各強度を把握する目的で行った材料試験、付着実験、曲げせん断実験である。試験体、テストピースの養生は気中養生、圧縮強度試験体のみ水中養生を併用した。また、コンクリートの養生環境を把握するために、養生ヤードの気温、相対湿度を経時測定した。

3.2 若材令コンクリート材料特性試験

表-1はコンクリート圧縮強度、積算温度、割裂強度を、表-2は同弾性係数を、表-3は同ポアソン比をそれぞれ示し、また図-3は材令を横軸、圧縮強度を縦軸として強度発現の様子を示したものである。表-1の積算温度に関して、既往の研究²⁾では積算温度が120°D・D程度あれば、約50%の強度発現があることが示されており、本実験でも積算温度137.4°D・Dの材令5日において56%(気中養生)の強度発現が確認できた。この材令5日における弾性係数は68%の発現率であり、圧縮強度に比較して早期に発現する可能性がある。また表-3より、若材令時のポアソン比は、1/6を下回る傾向が見られた。

表-1 コンクリート強度試験結果

材令	圧縮強度 (水中養生)	発現率 (気中養生)	圧縮強度 (気中養生)	発現率 (気中養生)	積算温度	割裂強度 (気中養生)	28日基準 (圧縮強度比)	強度比 (割裂/圧縮)
日	N/mm ²	21N/mm ² を基準	N/mm ²	21N/mm ² を基準	°D・D	N/mm ²	%	%
3	-	-	7.05	0.34	77.1	-	-	-
4	9.58	0.46	9.38	0.45	107.2	1.02	57	10.9
5	12.41	0.59	11.72	0.56	137.4	-	-	-
7	15.69	0.75	13.70	0.65	193.1	-	-	-
28	24.75	1.18	21.99	1.05	699.9	1.79	100	8.1

・圧縮強度は、平均値である。・当実験ではFc=21mm²を基準とした。
・材令4日の気中養生の圧縮強度は、材令3日と材令5日の圧縮強度を直線補間した。

表 - 2 コンクリートの弾性係数

材令 日	RC標準の計算式				実験値			
	水中養生		気中養生		水中養生		気中養生	
	弾性係数 N/mm ²	発現率 %	弾性係数 N/mm ²	発現率 %	弾性係数 N/mm ²	発現率 %	弾性係数 N/mm ²	発現率 %
3	—	—	1.15E+04	53	—	—	1.19E+04	55
4	1.37E+04	64	—	—	1.46E+04	68	—	—
5	1.57E+04	73	1.51E+04	70	1.52E+04	71	1.47E+04	68
7	1.78E+04	83	1.59E+04	74	1.74E+04	81	1.58E+04	73
28	2.24E+04	104	2.03E+04	94	2.13E+04	99	2.10E+04	98

・発現率は、 $\gamma=2.3, F_c=21\text{N/mm}^2$ としてRC標準の計算式より算出した弾性係数(2.15E+04N/mm²)を100%とした割合
 ・実験値は、応力度-ひずみ曲線において1/3強度時セカントモジュラスで求めた値

表 - 3 コンクリートのポアソン比

材令 (日)	ポアソン比 (水中養生)	発現率 (水中養生)	ポアソン比 (気中養生)	発現率 (気中養生)
3	—	—	1/7.9	76%
4	1/7.5	80%	—	—
5	1/8.8	68%	1/9.7	62%
7	1/14.5	41%	1/5.4	111%
28	1/5.6	107%	1/6.4	94%

・発現率は、1/6を100%としたときの割合

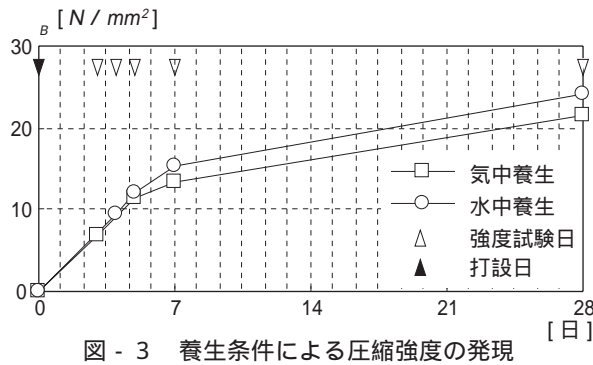


図 - 3 養生条件による圧縮強度の発現

3.3 若材令コンクリートの付着実験

若材令コンクリートの付着特性を把握するために、ACI式付着試験法⁴⁾に準じた実験を行った。

3.3.1 実験概要

付着実験の概要を図-4に示す。試験体は図に示すようにせい(厚さ)に比較して幅の広い単純支承梁であり、大きな純曲げ区間を設けたものである。付着実験対象の鉄筋(D13)は、純曲げ区間の端部でむき出しとなるよう欠き込み区間を設けた。また、曲げせん断区間には、鉄筋径の10倍の長さ(130mm)で定着し、支点外の部分はゴムホースで覆い、付着を除去した。使用した材料は、材料試験で示した各材令のコンクリートと、表-4に示す鉄筋である。付着試験区間からの抜け出しは、電気式変位計で測定した。

3.3.2 実験結果と若材令コンクリートの付着特性

表-5は、付着実験から得られた付着切れ始め時および鉄筋の引張り力が最大付着時の、付着応力度の平均値、

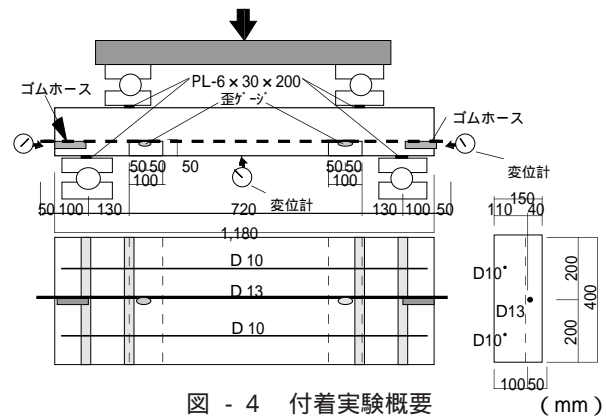


図 - 4 付着実験概要

表 - 4 鉄筋の材料試験結果

鉄筋径	降伏強度 N/mm ²	最大強度 N/mm ²	弾性係数 N/mm ²	破断時伸び %
D10	366.5	523.7	1.95E+05	45.0
D13	359.6	515.4	1.90E+05	27.4

抜け出し量および破壊モードを示した実験結果一覧である。鉄筋とコンクリートの「付着が切れ始め時」は、鉄筋外端部に当たった抜け出し量を測定する変位計の値に極端な変化が生じた時とした。コンクリートがコーン状に破壊した試験体(FU-4、10)や、上下加力板間のせん断破壊を示した試験体(FU-5)は、付着強度が他の強度に比べ十分発現していたものと考えられる。一方、コンクリート材令4日の試験体(FU-1、2)は、鉄筋の降伏以前に純曲げ区間上端のコンクリートが圧壊して終局に至った。

表-6は、付着切れ始め時の平均付着応力度の実験値(各材令における最小の値)と計算値(RC標準に従い、上端以外の鉄筋の短期許容付着応力度)を比較したものである。コンクリートの平均付着応力度は、本実験では、いずれの材令時においても、RC標準の許容付着応力度の算定式により評価可能となった。

表 - 5 付着試験体実験結果

試験体	材令 日	圧縮強度		付着切れ始め時		鉄筋最大応力時		最大荷重 kN	破壊モード		
		気中養生 N/mm ²	水中養生 N/mm ²	平均付着応力度 N/mm ²	拔出し量 mm	平均付着応力度 N/mm ²	拔出し量 mm				
FU-1	4日	9.38	9.59	1.94	0.012	4.02 ↑	2.274	59.5	A→C→D→E		
FU-2				2.27	0.010	4.27 ↑	1.446			58.9	A→D→E
FU-3	5日	11.72	12.41	2.32	0.004	3.75	2.792	59.2	A→D→F		
FU-4				2.08	0.008	4.66 ↑	2.140			45.1	A→D→H
FU-5				3.20	0.010	5.06 ↑	0.176			64.8	A→D→C→G
FU-6	7日	13.70	15.69	3.52	0.004	6.67	0.402	73.4	A→D→F		
FU-7				—	—	—	—			91.0	A→D→F
FU-8				2.56	0.010	6.05	0.586			71.0	A→D→F
FU-9	28日	21.99	24.74	3.87	0.010	8.62	0.288	132.8	A→B→C→D→F		
FU-10				3.60	0.006	6.82 ↑	0.326			77.5	A→H
FU-11				3.61	0.020	8.66 *	0.656 *			116.0	A→B→D→F

・付着応力度は、鉄筋のひずみに鉄筋の弾性係数(1.90E+05N/mm²)、断面積を乗じ、鉄筋周長、定着長さ(10d=13.0cm)で除して求めた平均付着応力度であり、最小の応力度を採用した。・付着切れ始め時の判断は、ε-δ slip関係の微小変形時から、目視により決定した。
 ・FU-7試験体は計測不良。・破壊モードは、A:曲げひびわれ、B:下筋降伏、C:せん断ひびわれ、D:最大荷重、E:コンクリート圧壊、F:鉄筋抜き出し破壊、G:せん断破壊、H:コーン状抜き出し破壊。・↑:表記の値以上であることを示す。・*:鉄筋降伏強度から算出。

表 - 6 平均付着応力度の実験値と計算値の比較

材令 日	実験値 N/mm ²	実験値 (28日を基準) %	計算値 (水中養生) N/mm ²	実/計 (水中養生)	計算値 (気中養生) N/mm ²	実/計 (気中養生)
4	1.94	54	1.44	1.35	1.41	1.38
5	2.08	58	1.86	1.12	1.76	1.18
7	2.56	71	2.35	1.09	2.06	1.25
28	3.60	100	3.51	1.03	3.30	1.09

・気中養生の材令4日コンクリート圧縮強度は、表-1の値を適用した。
 ・式: $\tau_{cal} = \text{Min}(\sigma_b/10, 13.5 + \sigma_b/25) \times 1.5$

3.4 若材令コンクリートの曲げせん断実験
 スラブのサポートを早期に除去した際に、若材令コンクリート部材の曲げひび割れ発生性状、曲げ強度を把握する目的で実験を行った。

3.4.1 実験概要

曲げせん断実験の概要を図-5に示す。試験体の曲げによる変形は、支持点との相対量として測定した。また

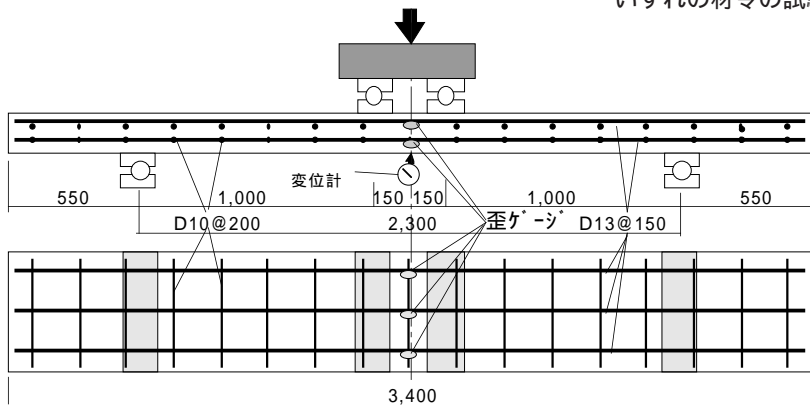


図 - 5 曲げせん断実験概要

(mm)

長手方向の鉄筋全数のスパン中央部にひずみゲージを貼付した。使用材料は付着実験と同様である。

3.4.2 実験結果と若材令コンクリートの曲げひび割れ特性

表-7は、曲げせん断実験の結果を試験体中央の純曲げ区間における曲げモーメントに換算し、かつ試験体自重による補正を施した値、および破壊経過を示した一覧である。MA-1を除く試験体が下筋の降伏が先行し、また

いずれの材令の試験体も、スパン中央上端のコンクリートの圧壊によって終局となった。表-8は、初曲げひび割れ強度の一覧である。実験値はRC規準の計算値と概ね対応した。

3.5 構造実験結果のまとめ
 若材令コンクリートの弾性係数は、圧縮強度の強度発現に比較して、早期に発現した。また、付着応力度、曲げひび割れ強度は、共にその材令時の圧縮強度を既往の式に適用することにより、評価可能となった。

表 - 7 曲げ試験体実験結果

試験体	材令 日	圧縮強度		初曲げひびわれ		曲げ降伏		最大荷重		破壊モード
		気中養生	水中養生	実験値	自重補正	実験値	自重補正	実験値	自重補正	
		N/mm ²	N/mm ²	kN・m	kN・m	kN・m	kN・m	kN・m	kN・m	
MA-1	4日	9.38	9.59	2.06	2.86	降伏せず	降伏せず	13.5	14.9	A→C→E
MA-2	5日	11.72	12.41	2.34	3.14	12.1	12.9	15.0	15.8	A→B→C→E
MA-3	7日	13.70	15.69	2.97	3.77	12.8	13.6	15.8	16.6	A→B→C→E
MA-4	28日	21.99	24.74	2.80	3.60	11.0	11.8	18.6	19.4	A→B→D→C→E

・曲げ降伏荷重は、ひずみが大きく伸びた推定点の荷重値。・初曲げひびわれ時モーメントは、鉄筋ひずみ、たわみ量からの値からその時期を推定した。・破壊経過は、A:曲げひびわれ、B:下筋降伏、C:最大荷重、D:上筋降伏、コンクリート圧壊である。

表 - 8 コンクリート初曲げひびわれモーメント

材令 日	実験値 kN・m	発現率 21N/mm ² を基準 %	計算値 水中養生 kN・m	実/計 水中養生	計算値 気中養生 kN・m	実/計 気中養生
4	2.86	65	2.97	0.96	2.94	0.97
5	3.14	71	3.38	0.93	3.29	0.95
7	3.77	86	3.80	0.99	3.55	1.06
28	3.60	82	4.78	0.75	4.50	0.80

・発現率は、 $\sigma_b=21\text{N/mm}^2$ として計算式により算出したもの(4.4kN・m)に対する割合である。
 ・水中養生、気中養生は、それぞれのコンクリートの圧縮強度を適用して算出した値である。
 ・気中養生の材令4日コンクリート圧縮強度は、表-1の値を採用した。
 ・計算式: $M_c=1.8 \times (\sigma_b)^{0.5} \times Z$ (Z=b×D²/6, b:試験体幅, D:試験体厚さ)

4. 本工法の検討手法と施工への適用

本工法に不可欠な若材令コンクリートの構造特性の評価方法の妥当性が、3章の構造実験によって確認されたため、本章では工法の検討手法および品質管理手法について述べるとともに、施工実績を示す。

4.1 検討手法

建設省告示では、構造計算の方法に関して具体的な記載がない。このため、構造実験の結果を考慮し、本工法の検討の手順を設定した。

4.1.1 適用が有効な条件

実験結果を踏まえ、本工法の適用が技術的および経済的な観点から有効となる条件は、以下の通りである。

- スラブは上下階で同じ形状のものが連続する
- スラブは四辺固定であり、短辺の長さが比較的短い
- 建物の平面形状が整形でありその規模が大きい

4.1.2 検討フロー

検討フローは図-6に示す通りとした。「仮定条件の設定」の内容は、サポートの存置状態(一部残置か全て除去か)設計上のスラブの厚み、スラブ配筋、サポート除去時のコンクリート強度、一部残置工法の場合のサポート列のスパン、荷重等を仮定する。また、以降の構造計算において、「NO」となった場合には、この仮定条件の一部を変更することができる。通常この変更は、一部残置サポート列の数について行う場合が多い。また可能な場合には、監理者の承認を得てスラブの構造を変更する場合もある。

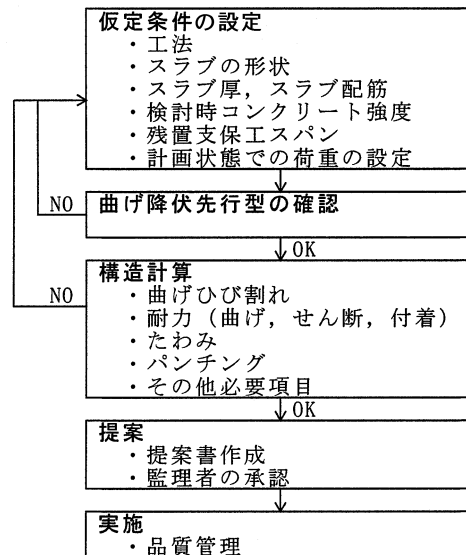


図 - 6 検討フロー

「曲げ降伏先行型の確認」の内容は、当該スラブが曲げ降伏先行の靱性タイプであることを確認することにある。すなわち、鉄筋量が極端に多く、しかもコンクリート強度が極端に低い場合には、スラブが曲げを受けた場合に鉄筋が弾性状態にある場合でも、コンクリートが圧壊するおそれがある。このため、引張鉄筋比が釣合鉄筋比以下であることを確認し、曲げ降伏先行の靱性タイプであることを確認する。

「構造計算」については、以下の項目を検討する。

曲げひび割れ：スラブに曲げひび割れが発生しないことを確認する。スラブの曲げ応力度は、縁ひずみが最も大きくなるようにモデル化する。すなわち、両端固定の状態であっても、単純梁としてモデル化する場合もある。

スラブ耐力：設定された荷重に対してスラブの曲げ耐力、せん断耐力、付着耐力が十分大きいことを確認する。曲げ応力度は、項で述べた曲げひび割れがないことが確認できていれば、問題ない場合が多い。せん断耐力は、鉄筋の効果を考慮する方法もあるが、これを無視し、コンクリートのみで構成材料として検討した方が安全側となる。付着の検討の一手法としては、せん断応力度から生じる付着応力度と、許容付着応力度との比較がある。

スラブのたわみ：スラブのたわみの算出方法は、スラブを面として考える方法と、線材として考える方法がある。安全側を考慮し、線材として、設定荷重を受ける場合の弾性たわみを算定し、これがスパンに対して一定値以下であることを確認する方法を推奨する。

パンチング：スラブにパンチング破壊が生じないことを確認する。一般的には、十分な余裕がある。

その他：その他必要と思われる検討および監理者との協議により要求された検討項目がある場合に行う。

4.2 品質管理手法

若材令コンクリートにおいて本工法を実施するにあたっては、通常の品質管理に比較してより厳格な品質管理が要求される。

サポートを早期に除去するための構造強度確認用テストピースの採取は、コンクリート打設終了時に近いコンクリートを用いる。また、コンクリートの圧縮試験結果は、検討責任者が設定した必要コンクリート強度以上となっていることを必ず確認し、その記録を保持する。さらに以下の事項は、検討責任者まで必ず報告し、確認または指示を得ることとしている。

構造強度確認用コンクリートの強度

支保工除去時のスラブ下面の状況（ひび割れの有無）

4.3 施工実績

これまで表-9に示す工事に対して本工法を実施してきた。これまでの工事を総括すると、ひび割れ等の不具合も伴わず、要求品質の確保ができています。加えて、使用済型枠・支保工の片付けが早期にできることから、以降の工程（仕上げ墨出し、設備工事、鋼製建具工事等）の早期着工が可能となったほか、躯体工事に投入する資材や人員の削減等の効果も生じています。

5. おわりに

本工法は在来工法を用いる中で省力化を目指した工法

表-9 適用工事一覧

工事名称	建設場所	主目的	工法
Aマンション	越谷市	省力化	一部残置
Bマンション	船橋市	省力化	一部残置
Cマンション	相模原市	省力化	全数除去
Dマンション	柏市	省力化	併用
Eマンション	板橋区	工期短縮	一部残置
Fマンション	大宮市	工期短縮	併用
Gマンション	豊島区	工期短縮	一部残置
Hマンション	葛飾区	工期短縮	全数除去
Iマンション	武蔵野市	工期短縮	全数除去
Jマンション	逗子市	工期短縮	全数除去
Kマンション	練馬区	省力化	一部残置
Lマンション	杉並区	工期短縮	一部残置

であり、適用条件が整いつつ検討フローに従った構造計算結果が良好なものであれば、技術上その適用は可能である。しかし、建築工事は、設計図書に適用規準とその優先順位が記載されており、さらに監理者の承認・確認のもとに進行する。したがって、建設省告示に基づいた本工法が全てに万能というわけではなく、検討結果が構造上支障ない結果となっても、監理者の承認を得ずして採用はできないことがあり得る。この制約を認識の上、監理者と協議し厳格な品質管理のもと、工事を進めるべきであることに注意が必要である。

謝辞

構造実験を担当していただいた技術研究所の関係者の皆様、また本工法を実践していただいた工事の関係者の皆様には、紙面を借りて感謝の意を表するものであります。

参考文献

- 1) 建設省告示第1655号：現場打コンクリートの型枠及び支柱の取りはずしに関する基準
- 2) 岡田・六車：コンクリート工学ハンドブック、朝倉書店
- 3) 近藤・小早川：初期コンクリートに関する圧縮強度と処女応力ひずみ関係式について、日本建築学会論文報告集、1963.5
- 4) ACI Committee 208：ACI Jurnal, Vol. 6, No. 32, pp.91 ~ 105, 1973
- 5) 中村・山本他：若材令コンクリートの付着実験（その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.337 ~ 338、1973.10
- 6) BCS共同研究：せき板の存置期間および初期養生がコンクリートの品質に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、1997 ~ 1998 および1991 ~ 1992
- 7) BCS共同研究：せき板、支保工の脱型時期の適正化に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、1981