

降雨時に打設されたコンクリート構造物の性能評価とその対策

牧野敏明・外間勝貴

¹ (株) 沖縄建設技研 (沖縄県浦添市宮城3丁目7番5-103号)

キーワード：性能評価、必要性能、補修・補強

1. はじめに

コンクリート構造物の施工時に、適切に品質を管理しながら、適切な施工により完工することは、構造物の性能を確保する上で重要である。コンクリート工事は天候の影響を受けやすく、打設から養生にかけては、特に管理が重要となる。

A新築工事では、2Fコンクリートスラブの打設中に降雨に見舞われ、雨水を排除しながらコンクリート打設を行ったものの、フレッシュコンクリート中に雨水が混入し、コンクリートの品質が劣化している恐れがあった。このため、当該スラブの品質について調査を行い、構造物

全体としての設計上の性能が確保できているか検討し、必要に応じて、補修・補強あるいは造り替えの判断をすることとした。

本稿では、降雨にあったコンクリート構造物の性能評価および補修設計について報告する。

2. 対象構造物および調査

2.1 対象構造物

A新築工事、2Fスラブの平面図を図-1に示す。同箇所のコンクリート打設は、正午すぎから行われ、約2/3を打設した

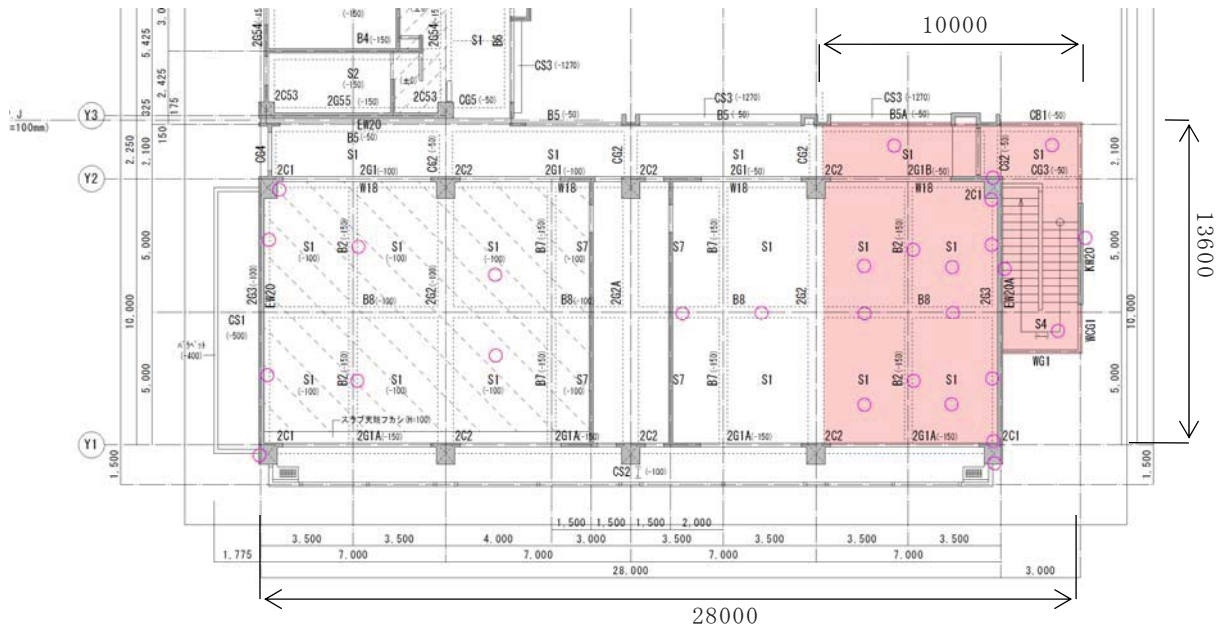


図-1 平面図

後、東側 1/3 程度の範囲を打設しているときに降雨に見舞われた。このため、品質に関する調査を、2F スラブ東側 1/3 の雨がかり部を中心に行った。

なお、降雨以前に打設終了した西側を健全部と評価し、相対的に調査結果を比較した。

2.2 調査箇所

写真-1 に、スラブ東側の雨がかり部を示す。スラブ下面には、白色のシミのような跡が見られ、スラブ表面にはレイタンスのような不良部分が見られた(写真-2 参照)。この不良部については、以下、ノロと呼称する。

調査の対象は、建築の主要構造部として、大梁、小梁、柱、階段、スラブ上面、下面とした。

2.3 調査項目および調査内容

調査項目、内容を表-1 に示す。なお、雨がかり部においては、目視調査・打音



写真-1 スラブ下面(天井)



写真-2 スラブ上面(ノロ部)

調査の結果を踏まえて、不具合の恐れのある箇所では非破壊検査(反発度法、衝撃弾性波)を実施した。

表-1 調査項目

調査項目	調査内容	
	健全部	雨がかり部
目視調査 打音調査	・健全部および雨がかり部を目視と併せて、ハンマーで叩いた音で、非破壊検査位置を決定する。	
反発度法 (シュミットハンマー)	・大梁3箇所 ・柱2箇所 ・スラブ下面14箇所 ・スラブ上面4箇所	・大梁13箇所 ・柱5箇所 ・階段4箇所 ・スラブ下面50箇所 ・スラブ上面15箇所
衝撃弾性波	・大梁1箇所 ・柱1箇所 ・スラブ下面6箇所 ・スラブ上面3箇所	・大梁9箇所 ・柱2箇所 ・階段2箇所 ・スラブ下面19箇所 ・スラブ上面10箇所
電磁誘導法	・スラブ上面、下面において、鉄筋のかぶりか確認する。	

2.4 調査結果

①目視調査・打音調査

- ・大梁、小梁、階段

目視調査において、特に変状は確認されず、打音調査においても、健全部、雨がかり部に打音の違いはなかった。

- ・スラブ上面

部分的にノロが確認されたが、ノロ以外の箇所では、打音調査による異常はなかった。

- ・スラブ下面

雨がかり部のスラブ下面は、正常なコンクリートでは見られない、縞模様が顕著に見られた。打音調査においては、縞模様の箇所で、鈍い音の箇所があった。

②反発度法(シュミットハンマー)による試験(写真-3)

コンクリートの設計基準強度は 24N/mm^2 であり、強度推定試験を行い、設計基準強度と比較した。表-2 に反発度法による試験結果を示す。

表-2 反発度法による調査結果

部材	反発度法 (N/mm ²)			
	健全部	判定	雨がかり部	判定
大梁	25~28	25>24	21~28	21<24
小梁	24	24=24	24~26	24=24
階段	-	-	23~26	-
スラブ上面	22~33	31>24 ※1	19~27	25>24 ※2
スラブ下面	28~33	28>24	17~32	17<24

※1 コンクリート表面がざらざらの箇所を除いた値

※2 ノロ部における値を除いた値

・スラブ上面

健全部は、22~33N/mm²となり、雨がかり部では、19~27N/mm²となった。健全部において、仕上げがなされておらず、コンクリート表面に不陸が見られた箇所では、22N/mm²となったが、それ以外の箇所では31~33N/mm²であった。雨がかり部の19N/mm²は、ノロの影響によるものである。ノロを除いた場合、25~27N/mm²とであった。

・スラブ下面

健全部は、28~33N/mm²となり、雨がかり部では、17~32N/mm²となった。一部で設計基準強度未満の箇所があった。



写真-3 反発度法による調査状況

③ 衝撃弾性波試験 (写真-4 参照)

衝撃弾性波試験は、コンクリート表面の気泡や不陸の影響を受けずに広範囲の調査ができるため、反発度法に比較して信頼性の高い調査が行える。表-3 に衝撃弾性波の試験結果を示す。

・小梁

雨がかり部において、21.6~29.3N/mm²となった。これは、型枠目地からノロが流出することによる、材料分離等の影響により強度が低下していると考えられる。その値の除くと、25.7~29.3N/mm²となる。

表-3 衝撃弾性波による調査結果

部材	衝撃弾性波 (N/mm ²)			
	健全部	判定	雨がかり部	判定
大梁	30.5	30.5>24	24.2~35.4	24.2>24
小梁	-	-	21.6~29.3	25.7>24 ※1
階段	-	-	28.6~31.3	28.6>24
スラブ上面	29.6~33.5	29.6>24	20.0~40.1	25.0>24 ※2
スラブ下面	30.2~35.6	30.2>24	7.5~39.9	7.5<24

※1 21.6N/mm²は、型枠目地の影響を受けているため、その値を除く。

※2 ノロのある箇所を跨いで測定した値。

・スラブ上面

健全部は、29.6~33.5N/mm²となり、雨がかり部では、20~40.1N/mm²となる。雨がかり部の20N/mm²は、ノロの影響によるものである。ノロを跨いで測定した結果、25.0~40.1N/mm²となる。

・スラブ下面

健全部は、30.2~35.6N/mm²となり、雨がかり部では、7.5~39.9N/mm²となった。一部で、設計基準強度未満の箇所があった。



写真-4 衝撃弾性波試験の状況

④ 電磁誘導法

鉄筋かぶりの調査は、スラブ上面および下面で行った。その結果、設計値の40mmを確認している。

2.5 調査結果の総括

調査結果より、大梁、小梁、階段、スラブ上面の部材においては、健全部および雨がかり部とも設計基準強度を満足することが確認された。

スラブ下面においては、反発度法による試験結果より、50箇所中12箇所が設計基準強度未満となり、衝撃弾性波試験においても、19箇所中3箇所が設計基準強度未満となる。スラブ下面では、全体的に健全部に比べコンクリート強度が小さい結果となった。

3. 構造物性能の検証

3.1 必要性能

構造物の必要性能は、①構造物安全性能、②第三者への影響度に関する性能、③使用性能、④耐久性、⑤修復性から設定される。

スラブ下面は、調査結果より、コンクリート強度が設計基準強度未満であったため、「①構造物安全性能」について検証する。また、雨水が混入していると推定されたため、「④耐久性」も対象となる。

3.2 構造物安全性能の評価・検証

構造物の安全性能は、計測したコンクリート強度が設計基準強度以上であるかによって評価する。

スラブ下面は、設計基準強度未満であるため、スラブ下面の構造評価を行い補強の必要性を検証する。

① 構造物安全性能における構造評価

構造性能の評価にあたっては、信頼性が高い衝撃弾性波試験の結果から、発注者および現場管理者との協議の上、評価対象のコンクリート強度を 11.5N/mm^2 と

した。

i) 構造安全性能における設計条件

構造物の評価にあたって、施工済み部材が、部材に必要な構造強度である「構造計算書における設計モーメント」に対する構造耐力を保有しているかについて照査する。

ところで、構造部材は、要求される構造性能に対して、ある程度の余裕をもって設計されることが一般的である。この構造性能上の余裕について評価するために、コンクリート設計基準強度を用いて、設計上において部材が保有している曲げ強度を逆算する。こうして求めた「設計許容曲げモーメント」についても照査の対象とする。表-4 に設計条件を示す。

表-4 設計条件

コンクリート強度	$\sigma_{ck} = 11.5\text{N/mm}^2$ (調査結果より) $\sigma_{ck} = 24\text{N/mm}^2$ (設計基準強度)
コンクリート許容曲げ応力度	$\sigma_{ca} = 11.5/3 = 3.8\text{N/mm}^2$ (長期許容応力度)
鉄筋許容応力度	$\sigma_{sa} = 295/1.5 = 195\text{N/mm}^2$ (SD295基準強度)
設計曲げモーメント	4.3kN・m (構造計算書) 9.0kN・m (設計基準強度から逆算値)

ii) 構造性能の評価

表-5 に示すとおり、「設計モーメント」でのコンクリート応力度は、許容応力度内となり、構造計算上、必要となる構造強度は有している。しかし、「設計許容モーメント」においては、許容応力度を超え、設計における構造耐力の余裕が失われている。構造上の余裕を確保するために補強が必要と考えられる。

表-5 曲げ強度の検討結果

検討モーメント	ΣM (kN・m)	σ_{ck} (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_{ca} (N/mm ²)	判定	σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)	判定
設計モーメント	4.3	11.5	2.0	≤ 3.8	OK	92.8	≤ 195	OK
設計許容モーメント	9.0	11.5	4.2	≥ 3.8	NG	194.2	≤ 195	OK

ΣM : 設計曲げモーメント σ_s : 鉄筋応力度
 σ_{ck} : 計測コンクリート強度 σ_{sa} : 鉄筋許容応力度
 σ_c : コンクリート応力度
 σ_{ca} : 許容曲げ応力度

3.3 耐久性能の評価・検証

耐久性能に関する評価を行うにあたって、性能低下の程度を検証し、補修の必要性を検証する。

①スラブ下面の評価方法

スラブ下面のコンクリートは、雨水が混入していることから、コンクリートの品質が低下し、耐久性の劣化が生じていると考えられる。このため、コンクリートのひび割れに対する評価を準用し、今回の不具合は、最も性能劣化が顕著な場合として、評価は「部材性能への影響 大」とした。

②耐久性能に対する評価

表-6 に、ひび割れ評価・補修指針における部材性能への影響と補修の必要性を示す。

スラブ下面は、部材性能への影響が大きいことから、補修が必要となる。

表-6 ひび割れ評価に基づく補修判定

部材性能への影響	補修の有無
小	補修不要
中	補修必要
大	補修必要

4. 要求性能に対する対策

4.1 補修・補強の方針

スラブの曲げ強度が不足していることから、補強を行う。また、耐久性能の評価より、耐久性の確保を目的で補修を行う。

4.2 補修・補強の方法

①耐久性に関する補修工法

コンクリートは、ひび割れ等の箇所から、炭素ガスや雨水などが侵入することで劣化するため、補修工法は、表面被覆工法により、劣化因子の侵入を予防し、耐久性の向上を図ることとする。

②構造性能に対する補強工法

スラブの曲げ強度の不足に対して、補強材を追加する方法として連続繊維シート接着工法により補強を行う。連続繊維シート接着工法は、コンクリート表面に繊維シートを貼付ける構造となるため、防水性もあることから、表面被覆と同様な効果も期待できる。



写真-5 連続繊維シート接着工法による施工例

4.3 補強を行った構造評価

①スラブ下面の補強設計の条件

設計条件は、「構造安全性能における設計条件」と同様の条件とする(表-4 参照)。

補強設計においては、設計と同様な構造性能を確保することを目的として、設

計基準強度から逆算し求めた「設計許容曲げモーメント」に対する構造強度を満足するように構造補強を行う。

②スラブ下面の補強評価

炭素繊維シートを用いて、補強した場合の構造性能の検討結果を表-7に示す。

炭素繊維シート(t=0.111mm)をスラブ下面に接着することで、モーメント作用時のコンクリート応力度は、許容応力度内となり、要求性能を満足する。

③耐久性に関する補修

炭素繊維シートの接着後、スラブ下面に仕上げ塗装を行うことで、コンクリートの表面を被覆する。この被覆により、劣化因子の侵入を防止する。

5. 今後の課題

雨水が混入したコンクリートについて、調査を行い、構造物の評価を行った結果、構造物安全性能および耐久性能を満足していなかったため、補修・補強を行った。

補修により要求される性能は回復しており、構造物の供用に当たっての問題はない。一方、構造物の補修・補強は広く行われているものの、このような対策を行った後の経年劣化については、データの蓄積等が少なく、明確でない部分がある。

中長期的な経年変化については、通常コンクリート構造物とは異なった性状

を示す可能性もあることから、供用期間中には定期的な点検を行い、変状の発生について警戒しておくことが、管理上重要となる。

6. おわりに

今回の事例では、施工中のコンクリート構造体を調査し、調査結果から得られた構造物の性能に基づき、設計上、要求される性能を確保するための補修・補強の設計を行った。

通常、品質管理上の問題がなく、施工されたコンクリート構造物は、設計通りの性能を保有しているとみなしてよい。しかし、構造物は、経年的に劣化したり、何らかの外的な要因によって劣化するため、構造が実際に保有している性能を知るには、詳細な調査を行う必要がある。

構造物の劣化については様々な劣化予測も行われているが、精度の甘い面があることから、コンクリート構造物を維持管理していくうえでは、劣化予測だけでなく、劣化の調査を行ったうえで、精度よく構造物の性能を評価し、維持管理に反映することが、重要となるものと考えられる。

参考文献

- 1)健全度診断マニュアル
- 2)コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針
-2013-
- 3)新コンクリートの非破壊試験
社団法人日本非破壊検査協会

表-7 補強設計の検討結果

ΣM (kN・m)	σ_{ck} (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_{ca} (N/mm ²)	判定	σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)	判定	σ_r (N/mm ²)	σ_{cfuk} (N/mm ²)	判定
9.0	11.5	3.2	≤ 3.8	OK	117.7	≤ 195	OK	198.1	$\leq 3,400$	OK

ΣM : 設計曲げモーメント

σ_c : コンクリート応力度

σ_s : 鉄筋応力度

σ_r : 補強材応力度

σ_{ck} : 計測コンクリート強度

σ_{ca} : 許容曲げ応力度

σ_{sa} : 鉄筋許容応力度

σ_{cfuk} : 補強材許容