

躯体長寿命化システム（RC造）の構築

岸 本 均 江 口 清
中 込 昭 篠 崎 公 彦*¹

要 旨

近年の急速な社会情勢の変革の中で、集合住宅に対する顧客のニーズはますます多様な形態を示しつつあり、新しいニーズの一つとして構造躯体と内装・設備を分離する、いわゆるスケルトン・インフィルの考え方が提案されるようになった。また、スケルトンである構造躯体は、現在の建築ストック時代への転換とも相まって長寿命化が望まれるようになってきている。本報告では、更新性配慮型集合住宅のスケルトンに対し、耐用年数100年超を想定して構築した躯体長寿命化システムについて紹介している。本システムは、100年後の躯体に対し部位別、劣化現象ごとに品質目標レベルを設定し、その目標レベルを実現するために「設計・計画時」、「施工時」の各段階で様々な対策技術を整備し、対策技術の実施においては、その保証レベルを設定して管理する。さらに、竣工後10年間の「モニタリング」を行うことによって、100年後の躯体が目標レベルを満足できることを確認する。という構成となっている。

キーワード 更新性／鉄筋コンクリート／躯体／長寿命／耐久性／モニタリング／小径コア

目 次

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1．はじめに | 4．劣化現象ごとのモニタリングシステム |
| 2．躯体長寿命化システムの概要 | 5．まとめと今後の課題 |
| 3．部位別・劣化現象ごとの100年後
の品質目標レベルと対策技術 | |

DEVELOPMENT OF LONG LIFE SKELETON SYSTEM FOR RC STRUCTURE

Hitoshi KISHIMOTO	Kiyoshi EGUCHI
Akira NAKAGOME	Kimihiro SHINOZAKI

Synopsis:

In recent years, the rapid change of a social life has diversified the condominium customers' needs. The skeleton-infill system, that separates interior and equipment from the structural frame, is proposed as one of the new customers' needs. The long life skeleton system is indispensable to improve the performance of renewal. This paper describes the development of the long life skeleton system that durable years exceed 100. The composition of this system is as follows. "The levels of target quality are set to every parts and deterioration phenomena of the building where it passed in 100 years. And, in order to achieve the target levels, the various countermeasure technologies are prepared by each stage of the points of planning and constructing." "The guarantee levels of countermeasure technologies are established and managed, when they are carried out." It is confirmed that the building 100 years old can satisfy the target levels by monitoring for ten years after completion."

* 1 関東支店 竹の塚LM作業所

1. はじめに

近年の急速な社会情勢の変革の中で、集合住宅に対する顧客のニーズはますます多様な形態を示しつつある。すなわち、家族構成、ライフスタイルの多様化、高齢者の長期居住化（バリアフリー対応）、およびSOHO化等の幅広いニーズが顕在化してきている。このような社会情勢の中、新しいニーズの一つとして構造躯体と内装・設備を分離するいわゆるスケルトン・インフィルの考え方が、提案されるようになった。

一方、住宅を社会資本の一つとして捉えてみると、従来のスクラップ&ビルドから建築ストックの時代への転換の中で、建物の長寿命化は必須条件となり、スケルトンとインフィルの分離もまた時代の要請となってきているのは無視できない流れである。それと同時に、リニューアル市場の活況が示すように、住宅以外の用途の建物にもますます更新性能が求められる傾向にある。

本報告は、RC造更新性配慮型集合住宅のスケルトンに対し、耐用年数100年超を想定した躯体長寿命化システムの構築のために実施した研究成果について紹介するものである。

2. 躯体長寿命化システムの概要

図-1に、躯体長寿命化システムの構成を示す。本システムでは、100年後の躯体に対し部位別、劣化現象ごとに品質目標レベルを設定し、その目標レベルを実現するために「設計・計画時」、「施工時」の各段階で様々な対策技術を提案している。また、対策技術の実施においては、その保証レベルを設定して管理する。さらには、竣工後10年間の「モニタリング」を行うことによって、100年後の躯体が目標レベルを満足できるこ

とを確認することとしている。

図-2に、躯体長寿命化システムのイメージを示す。図-2は、代表的部位の「柱」、「梁」、「床」、「外壁」、および「バルコニー」を示し、各々の部位毎に品質目標レベル、対策技術、モニタリング項目を設定している。

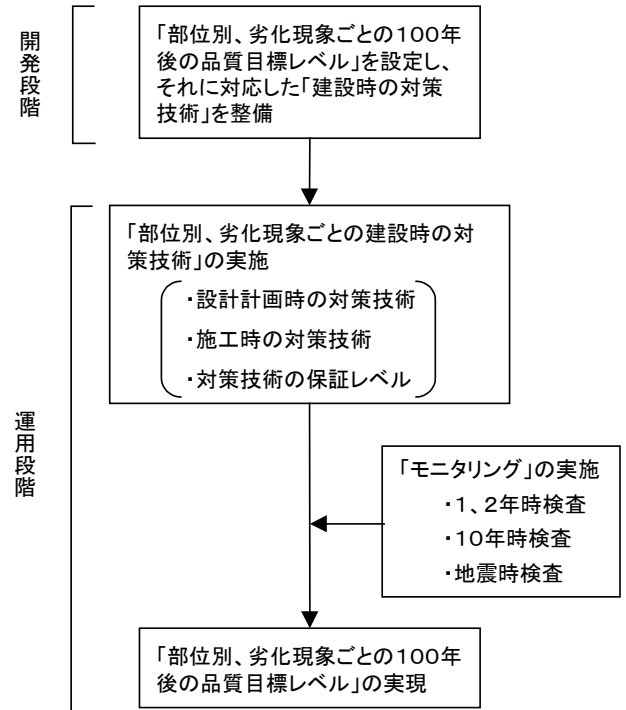


図-1 躯体長寿命化システムの構成

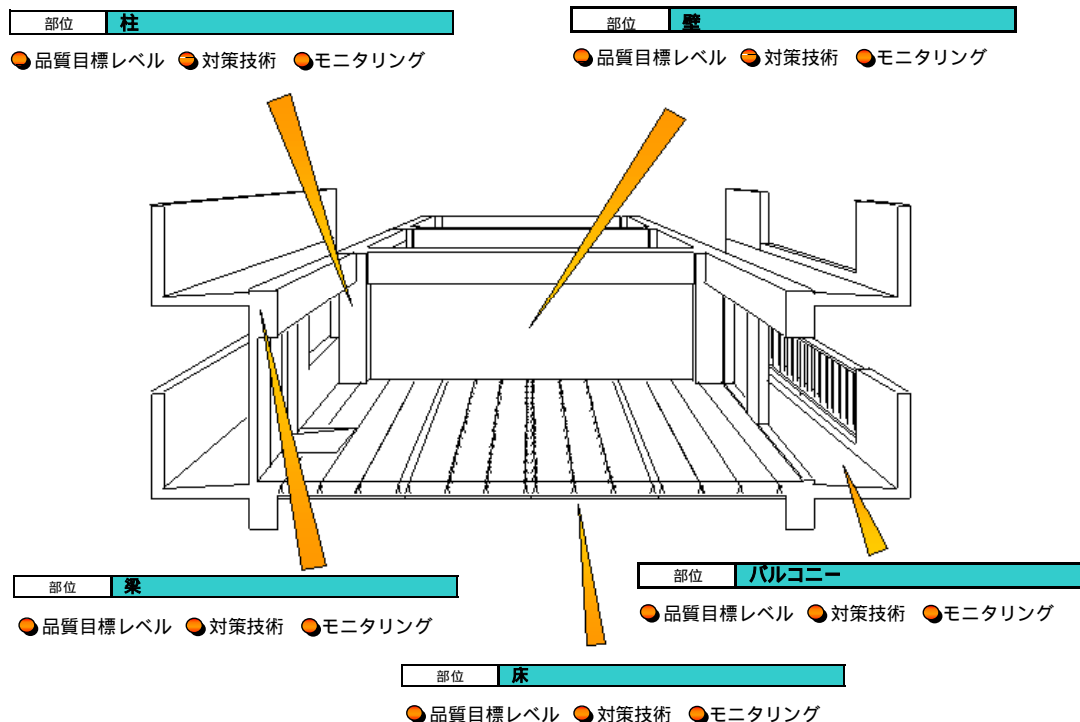


図-2 躯体長寿命化システムのイメージ

3. 部位別・劣化現象ごとの 100 年後の品質目標レベルと対策技術

3.1 対象部位と対象劣化現象

躯体長寿命化システムにおける対象部位と対象劣化現象は、表-1 に示すように分類した。

対象部位は、構造耐力上主要な部分で屋内の部材と、雨水の浸入を防ぐ部分で外部に面した部材、および構造耐力上主要な部分ではないが、劣化しやすく居住者の安全性・使用性に関係する部位の 3 つに大きく分け、それぞれ「躯体」、「外壁など」、「バルコニーなど」と定義した。なお、屋外に面する部材と屋内に面する部材とでは劣化要因が異なるため、外部に面した柱・梁は「外壁など」に含めることとした。

対象劣化現象は、「躯体」においては、代表的な劣化現象である、「強度低下」「鉄筋腐食」「変形」「ひび割れ」を対象とした。「外壁など」、「バルコニーなど」では、それらに加え「汚れ」、「漏水」、「表面劣化」をも対象とした。

3.2 部位別・劣化現象ごとの 100 年後の品質目標レベルと対策技術

表-2、表-3 に、部位別・劣化現象ごとの 100 年後の品質目標レベルと対策技術について、「躯体」と「外壁など」の抜粋

を示す。

これらの表では、それぞれの部位において劣化現象ごとの 100 年後の品質目標レベルと、それを細分化した劣化要因ごとの 100 年後の目標レベルを示し、目標レベルを達成するための対策技術と保証レベルを「設計・計画時の対策技術」、「施工時の対策技術」に分類して示している。

表-1 対象部位と対象劣化現象

対象部位		対象劣化現象
躯体 (構造耐力上主要な部分で、屋内の部材)	柱	強度低下
	梁	鉄筋腐食
	耐力壁(外壁を除く) 床スラブ(屋根を除く)	変形 ひび割れ
外壁など (雨水の浸入を防ぐ部分で、外部に面した部材)	柱(外周部)	強度低下
	梁(外周部)	鉄筋腐食
	外壁 屋根スラブ ベントハウス	変形 ひび割れ 汚れ 漏水 表面劣化
バルコニーなど (安全性・使用性を保証する部分で、劣化しやすい部位)	バルコニー	強度低下
	外部階段	鉄筋腐食
	外廊下の床 パラペット 庇 手すり	変形 ひび割れ 汚れ 漏水 表面劣化

表-2 「躯体」における劣化現象ごとの 100 年後の品質目標レベルと対策技術

劣化現象ごとの 100 年後の品質目標レベル		劣化要因ごとの 100 年後の品質目標レベル		対策技術と保証レベル		
劣化現象		劣化要因	100 年後の品質目標レベル	設計・計画時の対策技術	施工時の対策技術	保証レベル
強度低下 (強度不足)	構造体コンクリート強度 $\geq F_c$ *コンクリート強度の平均	調査	構造体コンクリート強度 $\geq F_c$	設計基準強度 $\geq 30\text{N/mm}^2$ 、 $W/C \leq 50\%$	単位水量試験の実施	所定単位水量の確保(設定値 $+10\text{kg/m}^3$ 以内)
鉄筋腐食	鉄筋腐食による錆汁の流出は認められない	塩化物イオン	塩化物イオン 0.3kg/m^3 以下(かぶり厚さの位置)	十分に除塩されていない海砂(NaCl:0.03%以上)の使用禁止 ・設計かぶり厚さ 柱・梁・耐力壁 $\geq 50\text{mm}$ 床スラブ $\geq 40\text{mm}$ の確保を図面上で確認	・1回/1打設の塩化物イオン含有量試験の実施 ・JASS 5 で規定する数量・間隔でスペーサー・バーサポートを配置	・塩化物イオン 0.2kg/m^3 以下 ・最小かぶり厚さの確保 40mm:柱・梁・耐力壁 30mm:床スラブ
ひび割れ	(柱) ひび割れ幅 $\leq 0.2\text{mm}$	アルカリ骨材反応	アルカリ骨材反応によるひびわれが起きない	原則として、アルカリシリカ反応性試験(JIS A 1145 (化学法)(2001))の結果が無害と判定された骨材を選定	最新の試験成績書の確認	アルカリシリカ反応性試験結果が無害と判定された骨材を使用

表-3 「外壁など」における劣化現象ごとの 100 年後の品質目標レベルと対策技術

劣化現象ごとの 100 年後の品質目標レベル		劣化要因ごとの 100 年後の品質目標レベル		対策技術と保証レベル		
劣化現象		劣化要因	100 年後の品質目標レベル	設計・計画時の対策技術	施工時の対策技術	保証レベル
強度低下 (強度不足)	構造体コンクリート強度 $\geq F_c$ *定められたモニタリング方法に従って算出したコンクリート強度(平均値)	(凍害) 凍害のおそれのある地域	凍結融解の繰り返しにより、コンクリート組織の顕著な劣化がないこと。	・耐久性指数 ≥ 85 以上(300サイクル) ・ $W/C \leq 50\%$ 、 $4\% \leq$ 空気量 $\leq 6\%$ ・吸水率の小さい骨材(目安として細骨材3.0%以下、粗骨材2.0%以下、軟石を避ける)の使用	・3回/1打設の空気量試験の実施	・所定の空気量を確保(4%以上、6%以下)
鉄筋腐食	鉄筋腐食による錆汁の流出は認められない	塩化物イオン	塩化物イオン 0.3kg/m^3 以下(かぶり厚さの位置)	十分に除塩されていない海砂(NaCl:0.03%以上)の使用禁止 ・一般地域の設計かぶり厚さ 柱・梁・耐力壁(妻壁) $\geq 60\text{mm}$ 屋根スラブ・非耐力壁 $\geq 50\text{mm}$ ・塩害地域の設計かぶり厚さ 柱・梁・耐力壁(妻壁) $\geq 70\text{mm}$ 屋根スラブ・非耐力壁 $\geq 70\text{mm}$	・1回/1打設の塩化物イオン含有量試験の実施 ・JASS 5 で規定する数量・間隔でスペーサー・バーサポートを配置する。	・塩化物イオン 一般: 0.2kg/m^3 以下 塩害地域: 0.15kg/m^3 以下 ・最小かぶり厚さの確保 50mm:柱・梁・耐力壁 40mm:屋根スラブ他 60mm:塩害地域
ひび割れ	(梁) ひび割れ幅 ・海水・潮風により乾湿の繰り返しを受ける場合 $\leq 0.15\text{mm}$ ・底のない場合 $\leq 0.15\text{mm}$	乾燥収縮	ひび割れ幅が許容値を超えない	・単位水量 $\leq 175\text{kg/m}^3$ (関西以西では、 180kg/m^3 以下) ・乾燥収縮率で0.06%以下を目標とし、できるだけ小さくなるような調査とする	・荷卸し時に所定の頻度で単位水量試験を行う ・供試体による構造体強度が 15N/mm^2 に達するまでの型枠存置による養生を行う	・所定単位水量の確保(設定値 $+10\text{kg/m}^3$ 以内) ・脱型時の供試体による構造体強度 $\geq 15\text{N/mm}^2$

3.3 使用するコンクリートの品質規定

表-4 に、本システムにおいて使用するコンクリートの品質規定の内、主要なものを示す。

ここでは、コンクリートの品質を表す項目を、1) 圧縮強度や乾燥収縮などのコンクリートの「性能」、2) 骨材やセメント等の「材料」、そして 3) 調合強度やスランプなどの「調合」の 3 つに分類し、それぞれに品質規定を設定した。

3.4 躯体長寿命化システム特有の対策技術

躯体長寿命化システムにおける特有の対策技術を表-5 に示す。ここで、特有の対策技術とは、一般の建築工事で実施されないが、当システムでは実施すると規定されている技術である。従って、躯体の長寿命化実現のために特に重要な対策として位置付けられるものである。また、本システム構築にあたり、特に対策技術の実施方法を定めたものについては、実施要領書としてまとめて標準化しているが、ここでは割愛する。

4. 劣化現象ごとのモニタリングシステム

本システムでは、建設時の対策技術が確実に実施されたことを前提として、竣工後 10 年間のモニタリングを行い、100 年後の品質目標レベルが実現できるであろうことを確認することとしている。

表-6, 7 に、「1,2 年時」と「10 年時」の劣化現象ごとのモニタリング方法を示す。1,2 年時検査は、異常が発生していないことを目視検査とヒアリング調査によって確認する。10 年時検査は、その時点において 90 年後（竣工後 100 年）の品質目標レベルが実現できるか否かを判断するために行うもので、ソフトコアリング等の定量的検査を実施することとしている。

また、震度 4 以上の地震発生時には、地震時検査を実施し、耐久性に影響を及ぼすような損傷の有無を確認するため、検査を実施することとしている。

5. まとめと今後の課題

100 年住宅を標榜する更新性配慮型集合住宅において、100 年を超える躯体の耐久性を実現するためのシステムを示した。

内容的には、建設時の対策技術と竣工後 10 年間のモニタリングについて規定したもので、これを実行することにより、躯体の対象部位・対象劣化現象ごとに設定した 100 年後の品質目標レベルを達成するものである。RC 造の更新性配慮型集合住宅を対象に構築したものであるが、それ以外の RC 造建築物において長寿命化を図る場合にも適用できる。

今後は、このシステムが、対象建築工事の設計・施工・維持保全の各段階で実行されるよう努めたい。

なお、このシステムは、更新性配慮型集合住宅（スケルトン・インフィル：SI 住宅）のスケルトンとしての躯体について、長寿命を実現するために構築したものである。したがって、地上部の躯体を対象としているため、地下部は対象外となっている。

表-4 使用するコンクリートの品質規定

	項目	規定等
性能	圧縮強度	品質基準強度 $F_c \geq 33\text{N/mm}^2$
	塩化物量	塩化物イオン量は、 0.20kg/m^3 以下
	アルカリ骨材反応	アルカリ骨材反応が生じない
	凍結融解抵抗性 (凍害の恐れのある場合)	凍結融解試験において 300 サイクルにおける耐久性指数が 85% 以上
材料	セメント	JIS R 5210 に適合する普通、中庸熱、低熱ポルトランドセメントとする。
	骨材	JASS5 4.3 に適合するものを使用する。原則として、アルカリ骨材反応性試験(化学法)の結果が無害と判定された骨材を使用する
	練混ぜ水	JIS A 5308 附属書 9 に適合し、スラッジ水は用いない。
調合	水セメント比	上部躯体で使用するコンクリートの W/C は、50% 以下とする。
	単位水量	単位水量は、 175kg/m^3 とする(関西以西では 180kg/m^3 以下)
	空気量	2~4.5% の範囲の値とする(凍害を受けるおそれのある地域では、4~6%)

表-5 躯体長寿命化システム特有の対策技術

対策時		特有の対策技術
設計・計画時	骨材の選定	アルカリ骨材反応の判定
		凍結融解抵抗性の判定
	設計かぶり厚さの 10mm のふかし	
	温度解析の実施	
	使用するコンクリートの品質規定	
施工時	受入れ時	単位水量試験
		3 回 / 1 打設の空気量試験
		3 回 / 1 打設の圧縮強度試験
		設計基準強度ごとのヤング係数試験
	打込み時	かぶり厚さ確保のためのスペーサー・バーサポート設置
		コンクリート内部温度測定
	打込み後	構造体強度 15N/mm^2 発現までの型枠存置による初期養生
		床の表面保護による養生 柱の保温(防風)養生

しかし、更新性配慮型集合住宅以外の RC 造建築物について、このシステムを適用する場合には、地下部の躯体も対象にしないとシステムが完結しない。また、更新性配慮型集合住宅においても、地下部躯体の 100 年を超える耐久性は必要である。基本的には、個々の物件における地下部特有の劣化現象について、本システムの考え方を準用すれば対応できるが、将来的には地下部についても同様のシステムを構築することが望ましいと考える。

謝辞：本システムの研究開発にあたっては、宇都宮大学工学部 榊田佳寛教授のご指導をいただいた。また、本研究開発は、(株) 銭高組との共同研究として行ったものである。ここに、関係者各位に深く感謝の意を表します。

表-6 劣化現象ごとのモニタリング方法 (1,2 年時検査)

調査時期	分類	劣化現象	対象部位	調査箇所	調査方法	判断基準 ¹⁾
1年時、 2年時	通常検査	変形	柱、壁	全般	ヒアリング →変形が確認された場合: レベルによる測定 →レベル測定により右欄の基準 を超えた場合: 異常時検査	・柱、壁: 不同沈下による傾斜 < 3/1000
			梁、スラブ	全般		・梁、スラブ: 最大たわみ量 20mm かつ $l \times / 400$ 以下
		ひび割れ	柱、梁、壁、バルコニー、パラベット、庇	外周部、 共有部分全般	目視 →異常が見られた場合 ²⁾ : 仕上げをはがし、再調査	1) 海水、潮風により乾湿の繰返しを受ける 場合: ひび割れ幅 0.15mm 2) 上記以外の場合: ひび割れ幅 0.20mm
		漏水	外壁 ²⁾ 、バルコニー、パラベット、庇	外周部、 共有部分全般	ヒアリング →漏水が見られた場合: 追跡調査	・躯体を通じた漏水が見られない
		鉄筋腐食 (錆汁)	外壁 ²⁾ 、バルコニー、パラベット、庇	外周部、 共有部分全般	目視 →錆汁が確認された場合: 異常時検査	・錆汁が見られない
		汚れ	外壁 ²⁾ 、バルコニー、パラベット、庇	外周部、 共有部分全般	目視	・一般的なクリーニングを定期的 に実施することで美観を保つことが 可能だと判断される
	異常時検査	強度劣化	柱、梁、壁、スラブ	異常があった箇所	ソフトコアリング	・構造体コンクリート強度 F_c
		鉄筋腐食	外壁 ³⁾ 、バルコニー、パラベット、庇	異常があった箇所	ソフトコアリング 電磁誘導法	・鉄筋位置での塩化物イオン 0.3 kg/m^3 ・最小かぶり厚さ 50mm (外壁 ²⁾) ・最小かぶり厚さ 40mm (パラベット、庇) ・最小かぶり厚さ 30mm (バルコニー)
					ひび割れの目視調査 (仕上げをはがした調査)	1) 海水、潮風により乾湿の繰返しを受ける 場合: ひび割れ幅 0.15mm 2) 上記以外の場合: ひび割れ幅 0.20mm

- 1) 判断基準を超えた場合は適切な補修を行う
 2) 仕上げ面で右欄のひび割れ幅の基準を超える場合
 3) 外部に面した柱、梁および壁を示す

表-7 劣化現象ごとのモニタリング方法 (10 年時検査)

調査時期	分類	劣化現象	対象部位	調査箇所	調査方法	判断基準 ¹⁾	補修方法の一例
10年時	通常検査	強度劣化	柱、梁、壁 バルコニー パラベット、庇	6本/1フロア (原則最下階)	ソフトコアリング	・構造体コンクリート強度 $\geq F_c$	別途検討
		鉄筋腐食 (1) 錆汁	外壁 ²⁾ 、バルコニー、パラベット、庇	外周部、 共有部分全般	目視 →錆汁が確認された場合: 異常時検査①	・錆汁が見られない	異常時検査① による
		(2) 塩害	柱、梁、壁 バルコニー パラベット、庇	海側に面した 任意の2箇所 ³⁾	ソフトコアリング	・鉄筋位置での塩化物イオン $\leq 0.3 \text{ kg/m}^3$	表面被覆工法
		(3) 中性化	柱、梁、壁 バルコニー パラベット、庇	任意の2箇所 ³⁾	ソフトコアリング	・中性化深さ $\leq 10 \text{ mm}$	表面被覆工法
		変形	柱、壁	全般	ヒアリング →変形が確認された場合: レベルによる測定 →レベル測定により右欄 の基準を超えた場合: 異常時検査②	・柱、壁: 不同沈下による傾斜 < 3/1000 ・梁、スラブ: 最大たわみ量 $\leq 20 \text{ mm}$ かつ $l \times / 400$ 以下	別途検討
		ひび割れ	柱、梁、壁 バルコニー パラベット、庇	外周部、 共有部分全般	目視 →異常が見られた場合 ⁴⁾ : 仕上げをはがし、再 調査	1) 海水、潮風により乾湿の繰返しを 受ける場合: ひび割れ幅 $\leq 0.15 \text{ mm}$ 2) 上記以外の場合: ひび割れ幅 $\leq 0.20 \text{ mm}$	注入工法
		漏水	外壁 ²⁾ 、バルコニー、パラベット、庇	外周部、 共有部分全般	ヒアリング →漏水が見られた場合: 追跡調査	・躯体を通じた漏水が見られない	注入工法
		汚れ	外壁 ²⁾ 、バルコニー、パラベット、庇	外周部、 共有部分全般	目視	・一般的なクリーニングを定期的 に実施することで美観を保つことが 可能だと判断される	表面被覆工法
		アルカリ骨材反応	柱、梁、壁 バルコニー パラベット、庇	外周部、 共有部分全般	目視 →ASRIによるひび割れが 生じていると考えられ る場合→異常時検査③	・アルカリ骨材反応によるひび割れ が生じない	異常時検査③ による
	異常時検査	①鉄筋腐食	外壁 ²⁾ バルコニー パラベット 庇	異常があった 箇所	電磁誘導法 ソフトコアリング ひび割れの目視調査 (仕上げをはがしての 調査)	・最小かぶり厚さ $\geq 50 \text{ mm}$ (外壁 ²⁾) ・最小かぶり厚さ $\geq 40 \text{ mm}$ (パラベット、庇) ・最小かぶり厚さ $\geq 30 \text{ mm}$ (バルコニー) ・鉄筋位置での塩化物イオン $\leq 0.3 \text{ kg/m}^3$ ・中性化深さ $\leq 10 \text{ mm}$ 1) 海水、潮風により乾湿の繰返しを 受ける場合: ひび割れ幅 $\leq 0.15 \text{ mm}$ 2) 上記以外の場合: ひび割れ幅 $\leq 0.20 \text{ mm}$	表面被覆工法 注入工法
		②強度劣化	柱、梁、壁、スラブ	異常があった箇所	ソフトコアリング	・構造体コンクリート強度 $\geq F_c$	別途検討
		③アルカリ骨材反応	柱、梁、壁 バルコニー パラベット、庇	異常があった箇所	コアの促進養生試験 (JCI-DD2法)	・膨張量 < 0.05%	表面被覆工法

- 1) 100年後の品質目標レベルを達成できるか否かの判断基準。判断基準を超えた場合は適切な補修を行う。
 2) 外部に面した柱、梁および壁を示す
 3) 通常検査-強度劣化の6調査箇所のうちの2箇所
 4) 仕上げ面で右欄のひび割れ幅の基準を超える場合

参考文献

- 1) 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，1997
- 2) NewRC 施工標準，国土開発技術センター，1993
- 3) コンクリートの品質管理指針・同解説，日本建築学会，1999
- 4) 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針（案）・同解説，日本建築学会，1997
- 5) コンクリートのひびわれ調査・補修・補強指針，日本コンクリート工学協会，1989
- 6) コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル，日本建築学会，1996
- 7) コンクリートの調合設計指針・同解説，日本建築学会，1999
- 8) コンクリートの品質管理指針・同解説，日本建築学会，1999
- 9) 鉄筋コンクリート造のひび割れ対策（設計・施工）指針・同解説，日本建築学会，1994
- 10) 高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説，日本建築学会，1991
- 11) 鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説，日本建築学会，2001
- 12) 型枠の設計・施工指針案，日本建築学会，1988