

第 2 章

構造躯体の健全性の評価

1. 調査方法

平成 26（2014）年度に実施した国立市市有施設構造体劣化調査の結果を踏まえ、構造躯体の健全性の評価を行いました。

構造体劣化調査で対象とした施設は、本計画の対象施設のうち、鉄筋コンクリート造^{*1}の建築物です。

（1）調査内容

調査対象施設に対し、圧縮強度試験、中性化試験、鉄筋腐食度調査、鉄筋かぶり厚さについて調査を実施しました。

- ・コンクリートコア調査（1棟あたり原則 外部1か所、内部2か所）

圧縮強度試験^{*2}、中性化試験^{*3}

- ・鉄筋腐食度調査（1棟あたり原則 外部2か所、内部1か所）

鉄筋かぶり厚さの計測^{*4}、鉄筋径の計測、鉄筋腐食状況の診断

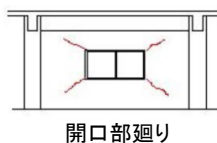
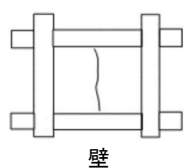
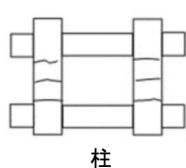
※耐震診断を過去 10 年以内に実施している建物は、新たにコンクリートコア調査を行わず、耐震診断時のデータを用いて評価します。

■ 構造躯体の健全性とは

建築物の使用年数の限界は、構造躯体の物理的な劣化による時期、あるいは社会的・技術的な変化により機能・性能の相対的な価値が失われる時期が考えられます。長寿命化において、構造躯体の耐用年数まで使い続けることを目指す場合、構造躯体が健全であることを確認する必要があります。

鉄筋コンクリートに生じる劣化には、①コンクリートの変質・組織崩壊・ひび割れ・欠けなどのコンクリート自身の劣化と、②鉄筋の腐食とに大別できます。

通常、これらの劣化現象は単独で発生しますが、個々の劣化現象は互いに助長しあう関係にあります。例えば、鉄筋がコンクリートの中性化や塩分の侵入によって腐食すると、コンクリートのひび割れや剥落などの劣化を招きます。また、コンクリートに組織崩壊やひび割れが生じると、鉄筋の腐食が促進されます。



コンクリートのひび割れ



コンクリートの中性化深さ

（資料：文部科学省「学校施設の長寿命化改修の手引」平成 26 年 1 月）

***1 鉄筋コンクリート造：**鉄筋の性質である容易に破断しない粘り強さ（靱性）と引張強度、セメントと骨材（砂及び砂利）を水と混ぜたコンクリートがもつ高い圧縮強度を併用した構造であり、国立市の公共施設の大半を占める。

***2 コンクリート圧縮強度：**設計時に基準となる強度（設計基準強度）を決め、構造計算を行う。施工時に設計基準強度が確保できているかを検査する。1N/mm²とは1㎡当り約100トン の圧力まで耐えられることを示す。一般に高強度のコンクリートほど供用期間が長く、「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 2009年）において計画供用期間の級とコンクリート圧縮強度の関係が示された。

***3 コンクリート中性化：**経年によりコンクリート内部のアルカリ成分が失われること。中性化の進む深さは時間の平方根に比例する。コンクリート中性化が進行すると内部の鉄筋が錆びやすい状況になる。

***4 鉄筋かぶり厚さ：**コンクリートの表面から鉄筋表面までの距離のこと。耐久性及び強度を確保するために必要であり、寸法は部位により異なるが、30mm～70mmの範囲で法令等により規定されている。

耐力壁以外の壁・床：30mm以上、耐力壁・柱・梁：40mm以上、基礎：70mm以上

2. 評価方法

評価にあたり、他市の事例や文部科学省の耐力度調査等と比較検討しました。

(1) 他市等の事例

① 名古屋市の構造体評価

名古屋市では、構造体より4種類のコンクリート供試体（コア）を採取し、中性化・圧縮強度、鉄筋腐食、塩化物量の結果から今後の残存年数（40年以上・20年以上・20年未満）を判定しています。

① 劣化度判定

1) 鉄筋腐食

はつり調査でコンクリートをはつり取り、露出した鉄筋を目視で腐食のグレードを判断します。グレードⅠおよびⅡの状態では、コンクリートの一体性は確保されているが、グレードⅢ以上となると、生成したさびに起因する膨張圧によって、コンクリートにひび割れや剥離が生じます。このため、グレードⅢまたはⅣの場合を有害な腐食と判断します。

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^{i=IV} \alpha_i n_i}{\sum_{i=1}^{i=IV} n_i} \quad \begin{array}{l} \alpha_i : \text{グレード } i \text{ の評点} \\ n_i : \text{グレード } i \text{ の鉄筋数} \end{array}$$

2) コンクリートの中性化

はつり調査で中性化深さを測定することにより、劣化度を判定します。

区分A1は鉄筋腐食の可能性が全くない段階、A2は少し可能性が出てきた段階であり、A3はかなりの割合で鉄筋の腐食が始まった段階です。

表3 中性化深さの測定値による区分

分類	診断基準(中性化深さ[mm])	
	屋外	屋内
A1	測定値<0.5D	測定値<0.7D
A2	0.5D≤測定値<D	0.7D≤測定値<D+20
A3	D≤測定値	D+20≤測定値

D：設計かぶり深さ最小値

3) コンクリート圧縮強度

圧縮強度による劣化度は右表のとおり判定します。

各階において、3本以上採取している場合は、各階ごとの圧縮強度 α 平均値から標準偏差 σ の1/2を差し引いた推定強度 σ_B を用います。3本未満の場合は、各階の圧縮強度 F_{min} を用います。各階のコンクリート圧縮強度による劣化度のうち、最大の劣化度をコンクリート圧縮強度による劣化度とします。

表 構造体耐久性評価

		鉄筋腐食による劣化度			
		I	II	III	IV
コンクリートによる劣化度	I	区分1	区分1	区分3	区分3
	II	区分1	区分1	区分3	区分3
	III	区分1	区分1	区分3	区分3
	IV	区分2	区分2	区分3	区分3

表1 鉄筋腐食の2次診断の劣化度区分

	劣化度	区分の基準
I	ほとんどなし	$0 \leq \bar{\alpha} < 1$
II	軽度	$1 \leq \bar{\alpha} < 3$
III	中度	$3 \leq \bar{\alpha} < 4.5$
IV	重度	$4.5 \leq \bar{\alpha} \leq 6$

表2 中性化速度による判断基準

分類	診断基準(中性化深さ[mm])
B1	測定値<0.5×計算値
B2	0.5D×計算値≤測定値<1.5×計算値
B3	1.5×計算値≤測定値

表4 中性化による劣化度

	B1	B2	B3
A1	I(なし)	II(軽度)	III(中度)
A2	II(軽度)	III(中度)	IV(重度)
A3	IV(重度)	IV(重度)	IV(重度)

表5 圧縮強度による劣化度

劣化度	判定基準
I(なし)	設計基準強度比100以上
II(軽度)	設計基準強度比100未満のコマがあり、かつ $\sigma_B \geq$ 診断強度 (採取コマ数が3本未満の場合は $F_{min} \geq$ 診断強度)
III(中度)	診断強度 $> \sigma_B \geq 13.5\text{N/mm}^2$
IV(重度)	$13.5\text{N/mm}^2 > \sigma_B$

表 残存耐用年数の区分

区分	残存耐用年数
区分1	40年以上(築80年以上)
区分2	20年以上(築60～80年以上)
区分3	20年未満(築60年未満)

② 鉄筋コンクリート造の建物の耐力度調査票

文部科学省の学校施設の耐力度調査では、構造体より 4 箇所のコンクリート供試体（コア）を採取し、中性化・圧縮強度、鉄筋腐食、かぶり厚さなどのコンクリートの状態の他に、水平耐力や、剛性率、偏心率等の保有耐力と、層間変形角等の構造解析から点数により判定します。

点数は 10,000 点満点で、鉄筋コンクリート造では 4,500 点以下（木造の場合は 5,500 点以下）で改築の補助金対象となります。

〔調査・評価項目〕

(A) 構造耐力

① 保有耐力

a. 水平耐力

b. 剛性率

c. 偏心率

d. コンクリート圧縮強度（4箇所）

② 層間変形角

③ 基礎構造

④ 構造使用材料

(B) 保存度

① 經過年数

コンクリート中性化深さ
及び鉄筋かぶり厚さ（柱・梁）

鐵筋腐食度 (柱・梁)

不動沈下量

ひび割れ

火災による疲弊度

(C) 外力条件

① 地震地域係数

地盤種別

積雪寒冷地域

海岸からの距離

[illegible]

■ コンクリート圧縮強度

d コンクリート 圧縮強度 k	(※) 試験区分	壁・梁 1	壁・梁 2	壁・梁 3	壁・梁 4	平均値F _c	k=F _c /20	判別式	工点
	コア試験	32.2	11.8	25.5	15.6	21.3	1.07	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> k ≥ 1.0 1.0 </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 1.0 > k > 0.5 直線補間 </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> k ≤ 0.5 0.5 </div>	1.0点

■ コンクリート中性化深さ及び鉄筋かぶり厚さ

②	コンクリート 中性化深さ及び 鉄筋かぶり厚さ	a コンクリート 中性化深さ	部 位	柱 1	梁 1	柱2(壁1)	梁2(壁2)	平均値 a	判 別 式	評 点		
			中性化 深さ	1.0	0.0	0.0	0.0	0.25	$a \leq 1.5\text{cm}$	1.0	ウ	エ(ウ×15) 15.0
									$1.5\text{cm} < a < 3\text{cm}$	直線補間		
									$a \geq 3\text{cm}$	0.5		
		b 鉄筋かぶり厚さ	部 位	柱 頭	柱 脚	梁 1	梁 2	平均値 b	判 別 式	評 点		
			かぶり 厚さ	3.5	3.5	6.0	3.5	4.125	$b \geq 3\text{cm}$	1.0	オ	カ(オ×10) 10.0
$3\text{cm} > b > 1.5\text{cm}$	直線補間								1.00			
							$b \leq 1.5\text{cm}$	0.5				

■ 鉄筋腐食度

③ 鉄筋腐食度 F	部 位	柱			梁			グレード平均値F 1.0	評 点 キ 1.0 ク(キ×15) 15.0
	状 況	認められない			認められない				
	グ レード	1.0	0.8	0.5	1.0	0.8	0.5		

(2) 評価方法

本計画では、構造躯体について、コンクリート圧縮強度、鉄筋腐食度、コンクリート中性化深さ及び目視調査の結果を基に、健全性を評価することにします。

① コンクリート圧縮強度

コンクリート圧縮強度は、平均値を用い、新たな調査結果と耐震診断時の結果を比較し低い方の値を用います。

② 鉄筋の腐食度

はつり調査により右表による4段階で判定します。

鉄筋の腐食度判定

グレード	基準
I	黒皮の状態、又は錆は生じているが全体的に薄い緻密な錆であり、コンクリートに錆が付着していない。
II	部分的に浮き錆はあるが、小面積の斑点状である。
III	断面欠損は目視では認められないが、鉄筋の全周辺又は全長に浮き錆が生じている。
IV	断面欠損が生じている。

出典：建築物修繕措置判定手法

③ コンクリート中性化深さ

コンクリート中性化の進行は一般に経過年数の平方根に比例し、次式で表されます。これにより中性化係数を求め、これと鉄筋かぶり厚さの最小値から目標使用年数を求め、80年末満の際は要観察と判定します。

中性化の理論式（JASS 5 2009年版）

$C = A \cdot \sqrt{t}$	C：中性化深さ（mm）
$A = C \div \sqrt{t}$	A：中性化係数
	t：経過年数（年）
目標使用年数 $T = (d \div A)^2$	d：鉄筋かぶり厚さ（mm）の最小値

T < 80年の場合、要観察

④ 目視調査

外壁等を目視により、鉄筋露出、ひび割れ等の顕著な劣化の有無を判定します。

構造躯体とは

構造躯体は、基礎、柱、梁、壁面（内外）、床など建物の構造を支える骨組みのことです。躯体、構造物、スケルトンとも呼ばれます。人でいう骨と同じで取り替えが効かないものです。躯体に問題があると長寿命化に適しません。

一般に、構造躯体はその使用材料により、鉄筋コンクリート造（RC造）、鉄骨造（S造）、木造（W造）などに区分されます。



RC造（柱梁構造）イメージ図

出典：文部科学省「学校施設の長寿命化改修の手引き」

3. 判定基準

(1) 長寿命化の判定基準

国立市の公共施設は、延床面積の約 85%が築 30 年以上経過した建物となっています。これまで、施設管理者を中心とした建物点検や適切な時期に行う修繕・改修によって、維持管理を行ってきました。今後は、全体的に老朽化がさらに進行していくことから、より一層、長寿命化の取組を推進し、建物を良好な状態で維持していく必要があります。

長寿命化とは、建物の寿命を延ばして、長く使い続けることです。必要な修繕や改修を行うことで、目標使用年数以上使い続けることを言います。長寿命化によって、環境負荷低減や財政負担の軽減・平準化の効果があります。

長寿命化のためには、①建物の躯体が健全であること、②躯体以外の部位や設備を適切な時期に更新すること、③施設の使い勝手や機能面の維持・向上を図ること、が必要です。

特に、躯体が健全でなければ必要な安全性が確保できないため、躯体の健全性は長寿命化の必須要件です。このため長寿命化の判定基準を次のとおり定めます。

長寿命化の判定基準

【本計画での判定】

[鉄筋コンクリート造（RC造）、鉄骨鉄筋コンクリート造（SRC造）の場合]

- 新耐震基準の建物は「長寿命化」として計画する。
- 旧耐震基準の建物は、次の条件に合致する場合に「長寿命化」として計画する。

①耐震補強済みまたは耐震診断で耐震性があること。

②コンクリート圧縮強度が次の条件にあること。

・コンクリート圧縮強度が 13.5N/mm²を超過

・コンクリート圧縮強度が設計基準強度の 4 分の 3 を超過

③鉄筋腐食度が次の条件にあること。

グレードⅠまたはⅡ（全長にわたる浮錆や断面欠損がない建物）

④中性化が次の条件にあること

中性化による使用年数が 80 年以上

⑤目視調査で顕著な劣化が見られないこと

※ 上記④⑤の条件に合致しない場合は、定期的な調査に基づき適切な機能回復改修を行い、「長寿命化」として計画する。

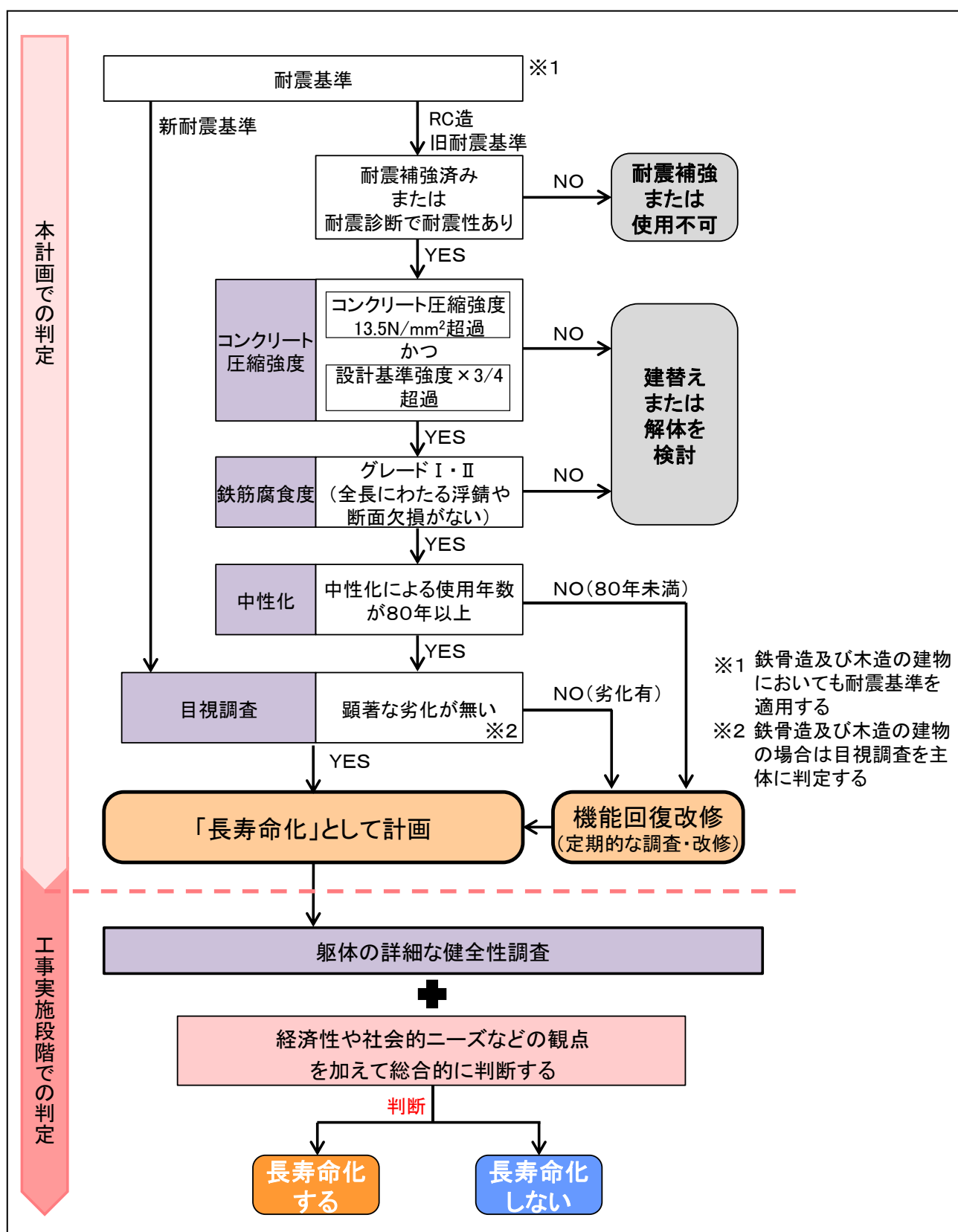
[鉄骨造（S造）、木造（W造）の場合]

- 新耐震基準であり、顕著な劣化が見られない場合に「長寿命化」として計画する。

【工事実施段階の判定】

- 耐力度調査に準じた調査項目・評価指標を設定した上で、躯体の詳細な調査を行う。
- 躯体の詳細な調査に加えて、経済性や社会的ニーズなどの観点から総合的に判断する。

図 長寿命化の判定フロー



出典：学校施設の長寿命化計画策定に係る解説書，H29年3月，文部科学省，p21 を基に加工

(2) 既存建物の目標使用年数

建築物は、老朽化による物理的な耐用年数だけではなく、経済的または機能的な観点から建替えや解体されることがあります。長寿命化とは、物理的な耐用年数まで建物を使用することです。建築物は屋根や外壁など多くの部位・設備機器によって構成され、その耐用年数はそれぞれ異なります。国立市では、このうち最長である構造躯体の耐用年数を建築物の目標使用年数と設定します。

建物の望ましい目標使用年数は、構造種別により異なり、また建物の施工時の状況やその後の使用状況及び立地環境によって異なりますが、一般に、下表参考のとおり設定できます。

国立市では、鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造の場合は、高品質の場合の下限值、普通品質の場合の上限値である 80 年を採用することが適当であるため 80 年と設定します。

重量鉄骨造は、「普通品質の場合」を適用し、60 年とします。軽量鉄骨造と木造はそれぞれの代表値から 40 年、60 年とします。ブロック造・れんが造は対象施設にありません。

なお、目標使用年数の時点で必ずしも建物を取り壊さなければならないわけではありません。目標使用年数の時点で、躯体の健全性が確認できれば、さらに長く建物を使っていくことも可能です。

国立市の既存建物の目標使用年数

鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造：80 年

重量鉄骨造：60 年

軽量鉄骨造：40 年

木造：60 年

参考 望ましい目標使用年数

表 建築物全体の望ましい目標耐用年数の級

用途 \ 構造種別	鉄筋コンクリート造 鉄骨鉄筋コンクリート造		鉄骨造			ブロック造 れんが造	木造
	高品質 の場合	普通の品質 の場合	重量鉄骨		軽量鉄骨		
			高品質 の場合	普通の品質 の場合			
学校・官庁	Y100以上	Y60以上	Y100以上	Y60以上	Y40以上	Y60以上	Y60以上
住宅・事務所・病院	Y100以上	Y60以上	Y100以上	Y60以上	Y40以上	Y60以上	Y40以上
店舗・旅館・ホテル	Y100以上	Y60以上	Y100以上	Y60以上	Y40以上	Y60以上	Y40以上
工場	Y40以上	Y25以上	Y40以上	Y25以上	Y25以上	Y25以上	Y25以上

表 目標耐用年数の級の区分の例

級	目標耐用年数		
	代表値	範囲	下限値
Y150	150年	120 ～ 200年	120年
Y100	100年	80 ～ 120年	80年
Y60	60年	50 ～ 80年	50年
Y40	40年	30 ～ 50年	30年
Y25	25年	20 ～ 30年	20年

出典：建築物の耐久計画に関する考え方，S63 年 10 月，日本建築学会

コラム 鉄筋コンクリートの劣化メカニズム

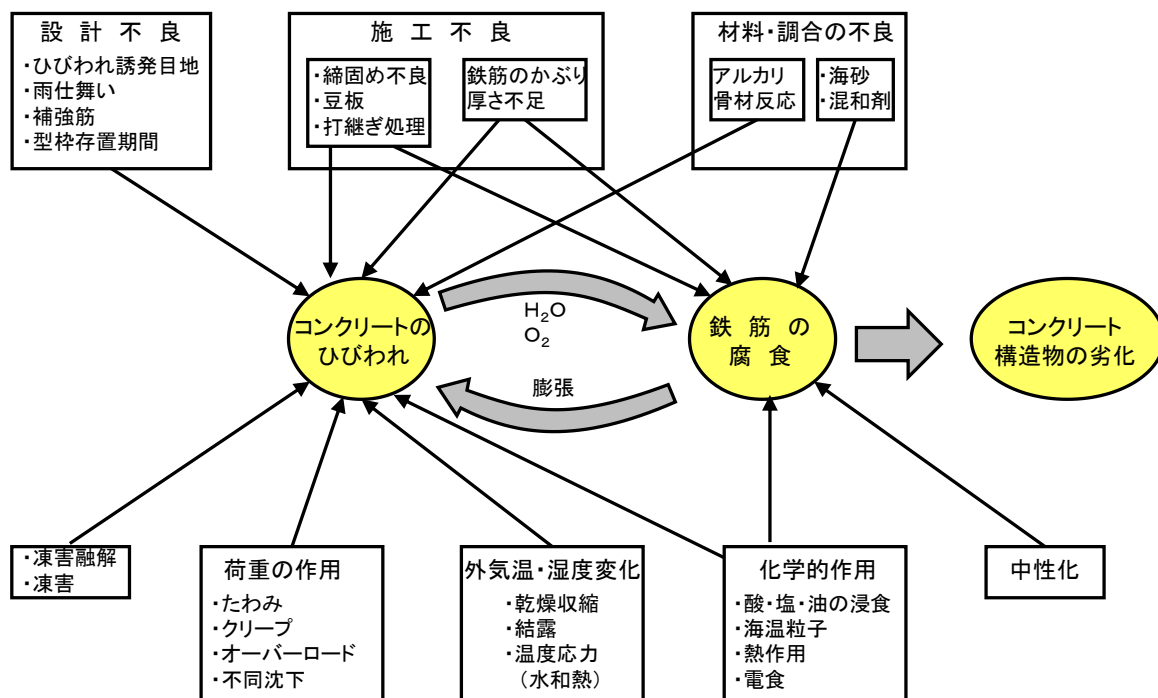
古代遺跡のコンクリートを調べてみると、現在用いられているコンクリートと同等以上の圧縮強度を持っていることから、コンクリートそのものの寿命は相当長いと言えます。

しかし、コンクリートは引張り力に弱く、この問題を解決するために 19 世紀に鉄筋コンクリートが開発されました。鉄筋コンクリートの登場により、様々な形状の建築物が可能になりましたが、反面、内部の鉄筋の劣化という問題を抱えることになりました。

鉄筋コンクリートの劣化とは、コンクリートのひび割れと鉄筋の腐食のことで、これらの進行によって構造耐力が低下します。劣化の要因は、施工不良、材料・調合の不良、経年で進む中性化などの様々であり、長寿命化にあたっては、これらの要因への適切な対応が重要です。

具体的には、長寿命化改修の際に躯体の状態に合わせて、ひび割れの補修、中性化抑止効果のある塗装、鉄筋かぶり厚の補修などを実施することが有効です。

<供 用 前 の 要 因>



<供 用 後 の 要 因>

図の出典：鉄筋コンクリート造建物の寿命予測，H3 年，柿崎正義



写真 1 鉄筋の腐食で生じたひび割れ・はく離



写真 3 塩害による鉄筋の腐食

写真の出典：学校施設の長寿命化改修の手引，H26 年 1 月，文部科学省

コラム コンクリートの圧縮強度と中性化について

設計基準強度とは

設計基準強度は、建物の構造設計の時に基準とした強度のことです。コンクリートの設計基準強度は、1950年代は13.5N/mm²程度でしたが、現在では24N/mm²から36N/mm²の間で設定されることが多いです。

コンクリートは、練り混ぜ、打設を行う中で、気温や運搬時間、材料のばらつきなど、様々な要因で強度に変化が生じます。現場では、出来上がったコンクリートが設計基準強度を満足するように、割り増した強度で品質管理を行います。

したがって、既存建物からコンクリートコアを採取して圧縮強度を測定した結果が、13.5N/mm²を下回るということは、健全な状態とは言い難いと判断しました。

古い建物の圧縮強度

コンクリートの圧縮強度は、経年により低下しないことが分かっています。1925年から1935年の間に建てられた同潤会アパートについて2004年時点で調査した結果を見ると、当時の基準である13.5N/mm²を上回っています。また、1936年に建築された国会議事堂におけるコンクリート材料試験でも、すべての地点で13.5N/mm²を上回っています。

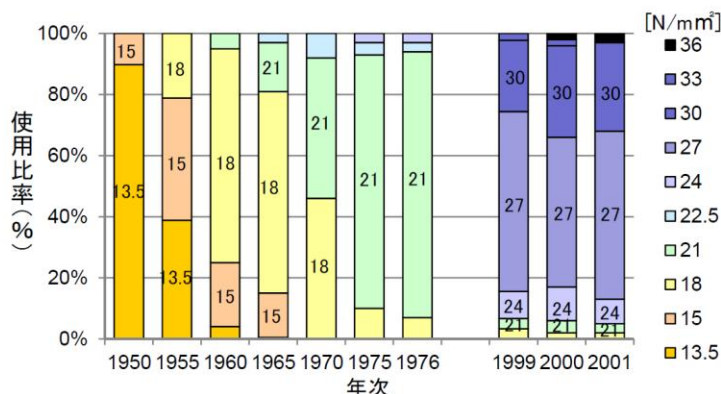
耐震診断基準での圧縮強度の取り扱い

鉄筋コンクリート造の耐震診断基準では、コア圧縮強度の平均値が13.5N/mm²を下回る場合は、結果を参考値として扱います。圧縮強度の平均値が13.5N/mm²を下回り、かつ、設計基準強度×3/4以下の場合は、適用範囲外として改築を視野に入れた検討が必要である、とされています。

コンクリートの中性化について

コンクリートの中性化が進行すると、内部の鉄筋が腐食しやすい状態に置かれることになり、錆による鉄筋の断面欠損や腐食膨張によるコンクリートのひび割れにつながります。ただし、中性化は、大気中の二酸化炭素などの外的要因により引き起こされるものであり、経年劣化とは別の事象です。コンクリート面に塗装を施すことで、外的要因をブロックする膜を形成して、中性化の進行を防ぐことが可能です。

コンクリートの設計基準強度の年次別使用比率



※東京都に建築された建築物に使用された設計基準強度の推移

(出典: 構造体コンクリートの品質に関する研究の動向と問題点、日本建築学会、2008年 を元に作成)

同潤会アパートにおけるコンクリートの状況

	最小値	最大値	平均値	標準偏差
大 塚	15.3	45.7	28.9	9.2
青 山	18.7	41.7	31.9	6.3
江戸川	20.2	39.7	29.1	6.1

上表のとおり、コア調査の結果、コンクリートの圧縮強度の低下は見られない

出典

- ・ 古賀一八ほか「同潤会アパートの施工技術に関する調査研究」2004年

図の出典: 既存鉄筋コンクリート造建築物の調査・診断・余命予測・補修の現状(学校施設の長寿命化改修に係る手引作成検討会(第1回)配付資料), 2013年6月, 野口貴文, 一部加工