

# プレストレストコンクリート (PC) 造建築物と長寿命

大野 義照\*

## 1. はじめに

資源やエネルギーの節約，社会資本の蓄積という社会的な要請に対しても，環境保全の点からも建築物の長寿命化が望まれている。1997年，京都で「気候変動枠組条約第3回締約国会議」(COP3)が開催され，日本は2010年までに，1990年比で6%の温室効果ガスを削減する議定書が採択された。日本建築学会はCOP3において，「建築の寿命を3倍に延長することが必要不可欠である」との会長声明を発表した。日本のCO<sub>2</sub>排出量の1/3が建築の分野に関係し，そのかなりの部分を建設段階で排出するためであり，また日本の建築物の寿命が欧米に比べて短いためである。図-1は関西の某大都市における公共建築の耐用年数の調査結果<sup>1)</sup>である。60年～65年の耐久性があるとされている鉄筋コンク

リート造建築物でも，平均値で見るとその1/2の30年しか使われていない。公共建築であってもこのように耐用年数は短い。また，建設廃材は全産業廃棄物の20%を占めており，昨今の産業廃棄物処理場の問題を見ても，早急に建築廃材の再利用を図るとともに建設廃材そのものを低減していかなければならない。一方，ヨーロッパの街並と比べて，わが国の都会の街並は貧弱で歴史性が感じられない。優れた街並の景観を形成していくためにも建築物の長寿命化が望まれる。

建築物の長寿命化には，材料・構造面の物理的な耐久性のほかに，機能性の維持から設備機器の交換が容易に行えることや用途変更にも応じられることも必須の条件である。

以下に材料，構造および機能の面からプレストレストコンクリート(PC)構造の長寿命化について考えてみたい。

## 2. 耐久性

### 2.1 材料面から見た耐久性

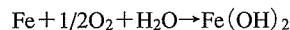
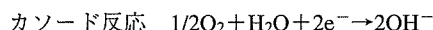
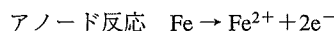
#### (1) コンクリートの耐久性

コンクリートそのものの耐久性に関係するものとしては，凍結融解作用，アルカリ骨材反応，摩耗，化学薬品による劣化などがある。凍結融解は密実なコンクリートの使用，アルカリ骨材反応に対しては骨材選定の段階での選別，摩耗，対薬品に関してはそれぞれの対策が考えられる<sup>2)</sup>。

通常的环境下であれば，コンクリート強度の時間的な劣化はないと考えてよい。

#### (2) 鋼材の腐食

コンクリート構造物の耐久性は，ほとんどの場合，鋼材の腐食によって決まる。鋼材の腐食は次式に示すように，鉄イオンが溶け出すアノード反応とそのイオンを取り込むカソード反応が同時に進行することによって発生する。



鋼材がアルカリ環境下であれば，アノード反応は抑制されている。ただし，塩化物イオンがあれば，たとえアルカリ環境下にあってもアノード反応は進行する。一方，カソード反応には酸素と水が不可欠である。したがって，コンクリート中の鋼材をアルカリ環境下におき，塩化物イオンを遠避け，酸素や水の供給を遮断すれば，鋼材が腐食することはない。しかしながら，実際の環境ではコンクリートは大气中のCO<sub>2</sub>と反応して炭酸化・中性化していき，塩化物イオンは建設時にコンクリート中の総量を規制しても海岸近くでは飛来塩分から供給される。酸素や水はひび割れや連続する空隙を通してコンクリート中に浸透していく。

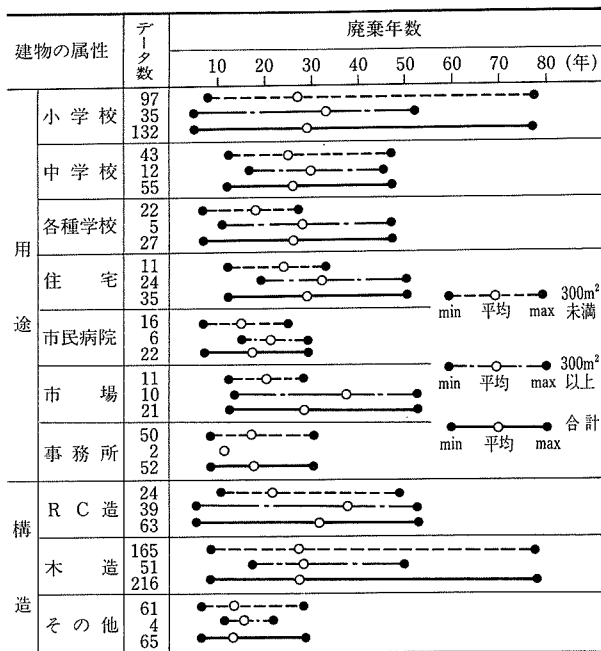


図-1 公共建築の廃棄年数 (kb市)<sup>1)</sup>



\* Yoshiteru OHNO

本協会理事  
大阪大学 大学院 工学研究科  
建築工学専攻 教授

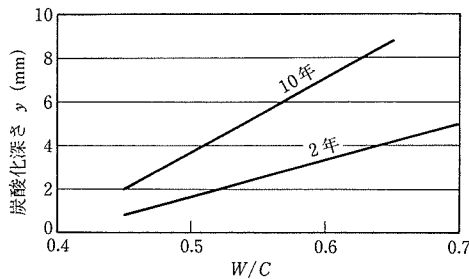


図-2 水セメント比と炭酸化深さの関係<sup>3)</sup>

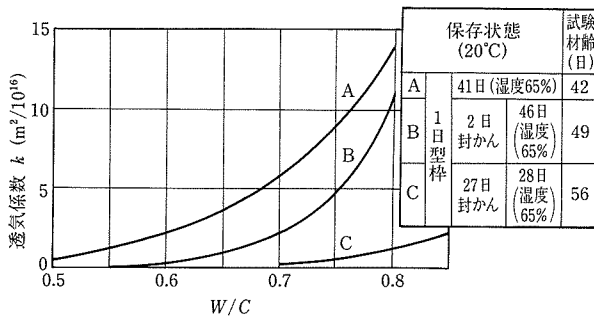


図-3 水セメント比と養生が酸素ガスの透気性に及ぼす影響<sup>3)</sup>

コンクリートの炭酸化深さと水セメント比の関係を示す図-2<sup>3)</sup>から水セメント比が小さくなると、炭酸化深さも減少することが分かる。透気性が小さいことは、炭酸化を生じさせるCO<sub>2</sub>や鋼材腐食に必要な酸素のコンクリート中への侵入に対して高い抵抗性を有していることを意味するが、コンクリートの透気性と水セメント比の関係を示す図-3には水セメント比が透気性にも大きく影響を及ぼすこと、また初期養生が大切であることも示されている。これらのことから水セメント比の小さいコンクリート、すなわち高強度コンクリートの使用によって、鋼材の腐食が防護されることが理解される。

図-4はコンクリート強度と中性化速度の関係を示したものである<sup>4)</sup>。空気量や混和材料とは関係なく、圧縮強度が高いほど中性化速度は小さくなっている。このような観点から、日本建築学会「建築工事標準仕様書・鉄筋コンクリート工事 (JASS 5)」1997年版では、表-1に示すように、構造物または部材の計画供用期間の級に応じて、コンクリートの耐久設計基準強度を定めている。表-1の耐久設計基準強度は、かぶり厚さが40mmにおける鉄筋の腐食確率3%を条件に定められたものであるが、同じ算出法<sup>5)</sup>で圧縮強度35N/mm<sup>2</sup>と40N/mm<sup>2</sup>のコンクリート構造物の耐用年数(大規模補修不要予定期間)を求めると、それぞれ150年と200年となる。

PC構造には、大きなプレストレスが導入できるように、また導入されたプレストレスの時間経過に伴う減少を少なくするため、高強度コンクリートが用いられている。上述のように、コンクリート強度が高いという点はコンクリートの中性化や塩化物イオン等の腐食促進物質のコンクリート内部への浸透を防ぐ点でも有利で、耐久性に優れていると言える。ただし、このようなPC構造の高耐久性を生かすためには、同一建築物における鉄筋コンクリート(RC)構造

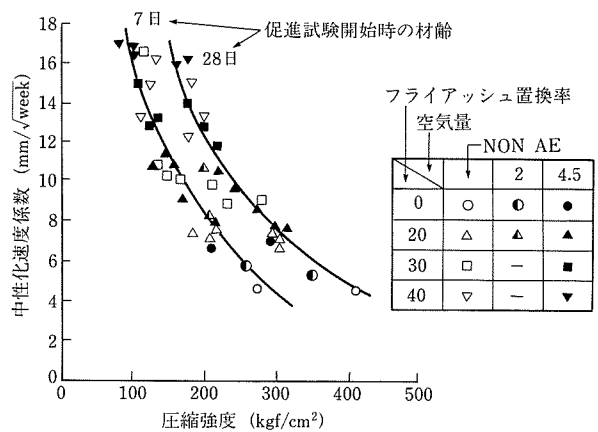


図-4 圧縮強度と中性化速度の関係<sup>4)</sup> (JASS 5解説図)

表-1 コンクリートの耐久設計基準強度 (JASS 5, 1997年度)

計画供用期間の級	耐久設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )
一般 (大規模補修不要予定期間としておよそ30年, 供用限界期間としておよそ65年)	18
標準 (大規模補修不要予定期間としておよそ65年, 供用限界期間としておよそ100年)	24
長期 (大規模補修不要予定期間としておよそ100年)	30

大規模補修不要予定期間：構造物および部材について、局部的な軽微な補修を超える大規模な補修を必要とすることなく、鉄筋腐食やコンクリートの重大な劣化が生じないことが予定できる期間  
 供用限界期間：継続使用のためには構造物の大規模な補修が必要となることが予想される期間

部分もPC構造部分に見合った耐久性を確保しておかなければならないことは言うまでもない。

ポストテンション工法においては、PC鋼材はグラウトによって腐食から保護されている。そのグラウトが十分に施工されていないとPC鋼材の腐食・破断に繋がり、場合によってはイギリスにおけるY.Y.G橋の落橋のような大事故を生む。グラウトはシーダクト内に完全に充填されなければならないが、ダクト内に発生するブリーディング水ならびにグラウト注入時に下り勾配の所で発生する残留空気の問題がある。この問題を解決すべくPC建設業協会耐久性委員会において、ノンブリーディング・粘性型のグラウトが開発された<sup>6)</sup>。これはブリーディングが生じず、粘性も高いので下り勾配のダクト中にも残留空気を生じない優れたグラウトで、土木の分野では広く普及している。ただし、一般にシーダクト径が細い建築工事においては注入に時間がかかり、注入圧力も高くなるので、注入計画や施工機械器具等の十分な検討が必要である。

PC鋼材特有の問題として応力腐食の問題がある。コンクリートやグラウトが適切に施工されている環境下では問題になっていないが、コンクリートの促進系AE減水剤中に含まれるチオシアン酸塩がPC鋼材の遅れ破壊に影響するので寒冷地のPC工事では注意が必要である<sup>7)</sup>。

PC鋼材は大きな応力を負担しているだけにその破断は大きな事故に繋がる。先に挙げたイギリスの橋のほかに、建築物の事故としては、ベルリン・ティアガルテンのコングレスホール部分倒壊<sup>8)</sup>が挙げられる。種々の原因が複雑に重なって生じた事故であるが、PC鋼材破断の原因の一つ

は、コンクリートかぶり厚さの不足と後埋め部コンクリートの充填不良である。シースの腐食からPC鋼材の腐食へ進んでいる。グラウトが充填されていてもPC鋼材は屈曲部ではシー스에接しているの、コンクリートかぶりの役割は重要である。

一方、プラスチックのシースの内部にグリースを充填したアンボンドPC鋼材がある。付着がない分、付着がある場合より部材耐力は劣るが、施工が簡単であるためひび割れやたわみ制御用に広く用いられている。また最近、後硬化型(アフターボンド)PC鋼材も開発された。これはあらかじめPC鋼材をポリエチレン管シース内に配置し、その空隙にエポキシ樹脂を充填したもので、エポキシ樹脂の硬化時間を施工期間に応じて設計でき、PC鋼材緊張時には付着がなく、設計応力の作用時には付着があるというもので、従来のアンボンドPC鋼材に付着を付与したものである。

建築物そのものは耐久性があっても種々の条件によって解体される場合もあろう。後で紹介するローマのコロッセオの例のように、役目の終わった建築物におけるプレキャストPC部材を再使用することが考えられる。ラーメン架構ではプレキャストPC部材はプレストレスによって緊結されることが多いが、PC鋼材に通電し加熱によってグラウトを軟化させ付着をなくせるようなグラウト材が開発されれば、損傷することなく部材は解体され再使用も可能となろう。

海上あるいは海中のような厳しい環境に置かれる建築物にとっては、二重三重の防錆対策が必要になる。非鉄製のシースや連続繊維の緊張材も開発されている。またPC鋼材をエポキシ樹脂で塗装し防錆処理されたものもある。

## 2.2 構造面から見た耐久性

PC構造はひび割れを制御することができる。ひび割れを通じて鋼材の腐食に不可欠な水、酸素、および腐食を促進する塩化物イオンなどが侵入することから、ひび割れは鋼材の腐食に影響する。図-5にひび割れと鉄筋腐食との関係などを調べた鉄筋腐食促進実験結果<sup>9)</sup>を示す。同図において、かぶり厚さ、水セメント比が同一条件のものを線で結んである。ひび割れがない、あるいはその幅が狭いと鉄筋腐食も少なくなっていることが分かる。水セメント比が大きい場合は、コンクリートがポーラスなことからひび割れがなくてもコンクリート中の鋼材は腐食しやすく、相対的

にひび割れの影響は小さいが、高強度コンクリートになるほど鉄筋腐食に及ぼすひび割れの影響は大きくなる。

長寿命の建築物は、大地震に見舞われる確率も当然高くなる。PC建築物の耐震性は本論の範囲でないので触れないが、地震に限らず過大な荷重が作用してひび割れや大きな変形が生じてもその荷重が取り除かれれば、ひび割れは閉じ変形は元に戻るという優れた復元性は、PC構造の魅力の一つである。ただし、プレストレス鉄筋コンクリート(PRC)構造においても鉄筋の降伏まで至ると、荷重が元に戻ってもひび割れが残留するので、ひび割れの閉合を期待する場合は一時的な超過荷重に対して鉄筋が降伏しないよう設計しなければならない。

## 2.3 機能面から見た耐久性(耐用年限)

建築物は社会的要求の変化、生活様式の変化に対応できなくなれば機能的に価値を失う。構造体も将来の用途変更や機能更新を見込んだ建築用途・機能の可変性、対応性が求められる。その点でも、自由度の高い空間を生む大スパンを可能とするPC構造は適している。また、20年程度で更新される設備機器の交換には新しい機器にも対応できるように階高も必要であるが、一般に大スパンになれば階高が高くなる。

最近、集合住宅においては間取りの自由度を求めて、図-6に示すように床スラブにアンボンドPC鋼材にてプレストレスを導入し、小梁をなくした例が多くなっている。これは、将来の間仕切り変更を容易にする。

用途変更をして使われ続けるPC建築物で多いものはボーリング場である。昭和40年代のボーリング・ブーム時に多数のボーリング場が、大スパンでかつ剛性が大きく床振動が生じにくいPC構造で建設された。ブームが去り、ボーリング場としての役割を終えた後も、その大スパンの空間は、ショッピングセンター、スーパーマーケット、展示場、学校のホールなどに利用されている。ただし、後期に建設されたものは経済性優先で耐荷能力に余裕がなく、耐力不足から解体された例も多い。

逆に、用途変更によって積載荷重が増える場合や何らかのトラブルによってたわみ問題が生じた場合に、鉛直荷重をキャンセルするというPCの特長を利用してアウトケーブルにて補強される事例<sup>11)</sup>もある。

## 3. PC造建築物の寿命

コンクリート造建築物の耐久性が優れていることを示す例としてよく紹介されるのは、AC.120年~125年に建設されたローマのパンテオン(写真-1)である。建物は直径43.5mの球がすっぽりと入る円形ドームで、円天井はコンクリートでできている。今も機能を果たしており、現在のセメントとは異なるが、コンクリート造建築物の耐久性の証である。ただし、無筋コンクリートであることが高耐久に繋がっている。同じくローマのコロッセオ(写真-2)は、AC.80年に建設された外周527mの楕円形闘技場で、壁はコンクリートでできている。大量に用いられている大理石の一部は、中世に新しい建造物用に切り出され再利用された。

近代のセメントが1824年イギリスのJ. Aspdinによって発

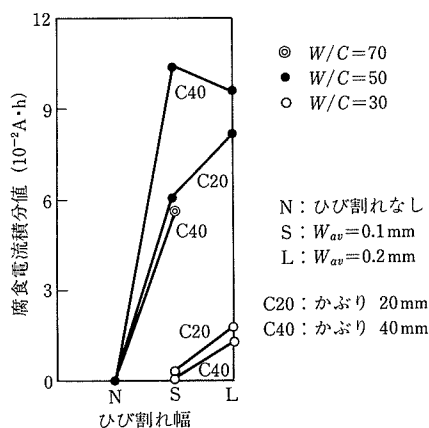


図-5 ひび割れと鉄筋腐食<sup>9)</sup>

基準階のアンボンドケーブル配線図

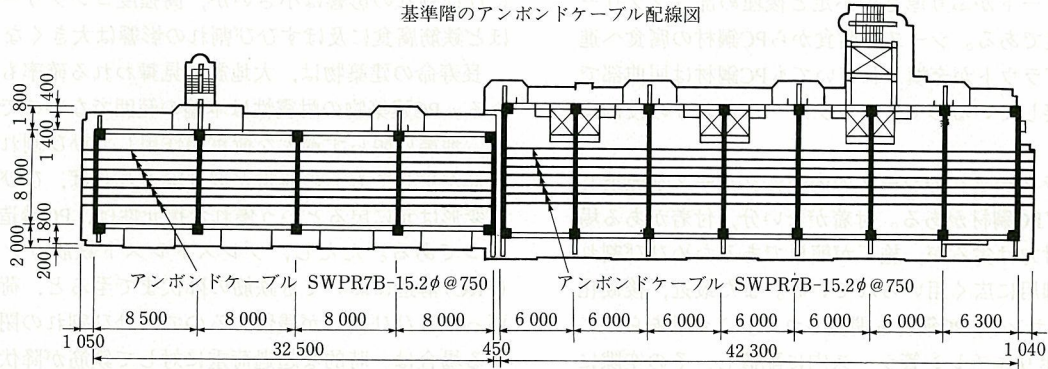


図-6 小梁のないPRC集合住宅



写真-1 パンテオン



写真-2 コロッセオ

明された。鉄筋コンクリートが発明されたのは1867年フランス人 J. Monier の特許によってである。1903年にフランス人 Auguste Perret によってパリ市内に鉄筋コンクリート造の集合住宅が建設され、今も使われている。約100年の歴史がある。

PC造の建築ではシドニーのシンボルにもなっているオペラハウス (写真-3) がある。シドニー湾に突き出たデッキの上に1972年に建設された。ヨットの帆のような外観は、プレキャストPCのリアーチによる球面シェル架構によって構成されている。劇場のコンコースの梁 (49mスパン) は現場打ちのPC構造である。三方を海に面し海上建築物のようであるが、30年を経過した現在も構造体には損傷が見られない。

パリではフランス革命200年を記念していくつかのプロジェクトが実施されたが、その一つが1989年に建設されたラ・グランド・アルシェ (写真-4) である。この建築物は

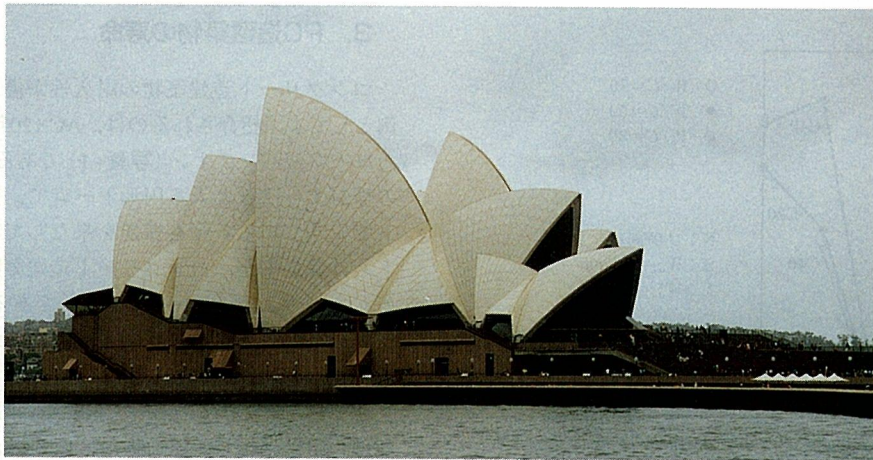


写真-3 オペラハウス

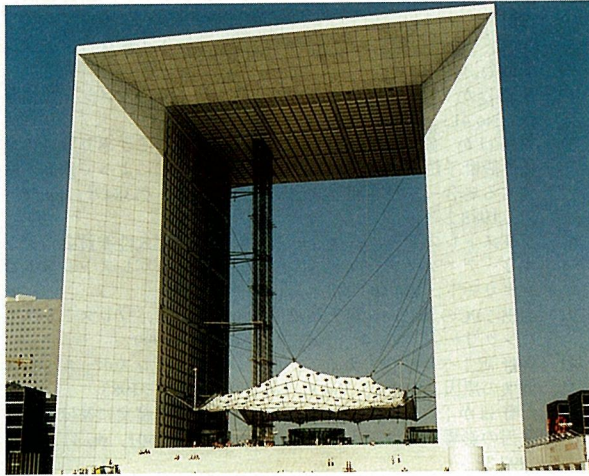


写真-4 ラ・グランド・アルシエ

高さ111m, 幅112m, 奥行き107mで, 高さ90m×幅70mの吹抜けがあり, スパン70mの大梁はPC構造である。100年単位の耐久性が期待されている。

わが国の建築の分野において本格的にPC構造が用いられたのは, 現在も使用されている1954年に竣工した旧国鉄浜松町駅ホームの上屋である<sup>12)</sup>。1956年には千駄ヶ谷駅本屋が階高3.4mの平屋でプレキャストPC造で建設された。その後も旧国鉄の技術陣によって大井工場塗装職場(1959年建設), 同工場食堂(1962年), 車体修理場(1963年~1967年)などが建設され, 今も使用されている。これらのPC部分はいずれもプレキャスト構造でコンクリートの設計基準強度は35 N/mm<sup>2</sup>~40 N/mm<sup>2</sup>である。1957年にはわが国初の3階建てPC不静定架構の兵庫県南淡町庁舎が淡路島に建設された(写真-5)<sup>13)</sup>。埋立てによって現在は海岸から離れているが, 建設時には海岸に面して建てられていた。1995年の兵庫県南部地震による損傷は無論のこと, 鋼材の腐食等の耐久性に関連する損傷もまったく見当たらない。現場打ちの

RC部分も設計基準強度300 kgf/cm<sup>2</sup>の良質のコンクリートが用いられていたことや, 当時としては新しい構造ということで施工も丁寧に行われたことによるものと考えられる。公共建築の平均寿命が30年という中で今も便利に使用されているのは, 室内に1本の柱もないことなど機能性の点でも優れた建築であることを示している。この建物は, 材料・構造・計画すべての面で, 建築物の長寿命に何が必要であるかということを示している。

コンクリート構造の耐久性を期待して建設された最近のPC造建築物を2つ紹介する。1999年に竣工した那覇空港国内線旅客ターミナルビルは, 内部空間は開放的で自由度のあるPC大スパン架構で構成され, 飛来塩分の多い沖縄の海岸近くに位置しているため耐久性の観点から高強度で密実性の高いコンクリート構造体選ばれた(写真-6)<sup>14)</sup>。もう一例は, 2000年秋に横浜市に竣工する7階建てのコンピュータビルである。設計基準強度60 N/mm<sup>2</sup>の高強度コンクリートを採用したプレキャストPC造で, 積層ゴム, 鋼棒ダンパー, 鉛ダンパーを使用した免震構造が用いられている。高強度コンクリートにより高耐久性が保証され, 免震構造との併用により床荷重が大きくてもスパンを大きくで



写真-5 南淡町庁舎(淡路島)



写真-6 沖縄那覇空港国内線ターミナル

きるといふPC構造の特性が一層發揮されている。情報センターという建物の用途に依じて、大地震時においても最大層間変形角は1/200以下、架構の応力は層の降伏耐力の2/3以下で、PCの復元力によって地震後の残留変形は0となる。建築物の寿命として100年が考えられているが、材料的な耐久性はもとより耐震性も十分で、余裕のある設計荷重、広いスパンで耐震壁はなく、将来の用途変更にも十分耐えられる、まさに長寿命対応建築と言えよう。

#### 4. おわりに

建築物の長寿命化を図るには、高強度コンクリートを用い、将来の用途変更や建築の質を高める設備機器の交換が容易なように平面的にも階高の面でもゆとりをもたせておく必要がある。この点は、まさにプレストレストコンクリートの得意とするところである。また、今般、建築基準法施行令が改正され、建築物の目標性能を明確にした設計が求められるようになった。耐久性はコンクリート強度で、機能性はプレストレスにより可能となる大スパンで対応でき、ひび割れやたわみも任意にコントロールできるPC構造は性能設計に対応しやすい構造と言える。

#### 参考文献

1) 柏原：建築の寿命を考える，建築と社会，pp.32～35，1997.1

- 2) 岡田，六車 編：コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店，1981
- 3) Stark, Wicht (太田，佐伯 訳)：コンクリートの耐久性，セメント協会，1999
- 4) 長滝 ほか：コンクリートの中性化深さの予測，セメント技術年報，No.41，pp.343～346，1987
- 5) 和泉 ほか：鉄筋コンクリート造建築物におけるかぶり厚さの信頼性設計手法の提案—コンクリートの中性化によって鉄筋が腐食する場合—，日本建築学会構造系論文集，第384号，pp.58～67，1988.2
- 6) プレストレスト・コンクリート建設業協会耐久性委員会：ノンブリーディンググラウトへの移行について，プレストレストコンクリート，Vol.40，No.3，pp.71～75，1998
- 7) 山田：PCの新しい材料入門講座 No.5 PC鋼材，プレストレストコンクリート，Vol.41，No.6，pp.86～91，1999
- 8) 俣野 訳：ベルリン・テイアガルテンのコングレスホールの部分倒壊の原因，GBRC，Vol.8，No.1，pp.8～23，1983
- 9) 大野 ほか：コンクリート中鉄筋のマクロセル腐食に及ぼす各種要因の影響，セメント・コンクリート，No.601，pp.41～48，1997.3
- 10) 阪神淡路大震災調査報告編集委員会 編：阪神・淡路大震災調査報告 建築-2，プレストレストコンクリート造建築物ほか，1998.8
- 11) プレストレストコンクリート技術協会 編：PC構造物の耐震設計の現状(第27回PC技術講習会)，p.38，1999
- 12) 町田：PC建築の歴史と将来，プレストレストコンクリート，Vol.41，No.1，pp.12～14，1999
- 13) 六車：兵庫県南淡町庁舎，コンクリート工学，Vol.29，No.1，p.62，1991.1
- 14) 辻 ほか：PCa PCコンクリート工・構法による空港ターミナルビル建設，プレストレストコンクリート，Vol.41，No.4，pp.56～65，1999

【2000年6月7日受付】

#### ◀ 刊行物案内 ▶

## PC構造物の耐震設計の現状

—— 第27回PC技術講習会 ——

(平成11年2月)

頒布価格：5 000円 (送料500円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会