

大学課程 **建築構造学(1)**

竹山謙三郎 共著
桜井良雄

大学課程 建築構造学(1)

工学博士 竹山謙三郎 共著
工学博士 桜井良雄

才一ム社

著者略歷

竹山謙三郎

昭和 7 年	東京大学工学部建築学科卒
昭和 20 年	工学博士の学位を授与さる
昭和 30 年	建設省建築研究所所長
昭和 36 年	東京都立大学教授
昭和 38 年	鹿島建設株式会社常務取締役兼技 術研究所所長
現 在	鹿島建設株式会社技術研究所顧問 員白学園女子短大教授

桜井良雄

昭和 7 年 東京大学工学部建築学科卒業
昭和 25 年 工学博士の学位を授与さる
昭和 32 年 建設省営繕局長
昭和 36 年 株式会社銭高組常務取締役
現 在 株式会社銭高組顧問

大学課程 建築構造学 (1) © 竹山謙三郎・桜井良雄 1977

昭和 52 年 12 月 20 日 第 1 版第 1 刷発行

著者承認
檢印省略

著者 竹山謙三 郎
桜井良 雄

発 行 株式会社 才 一 山 社
郵便番号 101
東京都千代田区神田錦町3 / 1
代表者 三 井 正 光

發 売 所

株式会社 才一ム社書店

101	東京都千代田区神田錦町3ノ1	(振替東京 6-20018)
604	京都市中京区河原町通り四条上ル	(振替京都 31080)
530	大阪市北区堂島・毎日大阪会館	(振替大阪 10884)

印刷 中央印刷 製本 協栄製本
落丁・乱丁本はお取替えいたします

は し が き

本書の前身「新制 建築構造 (1)」を竹山謙三郎と桜井良雄の二人で共同執筆したのは、昭和 31 年のことであつたが、幸い各方面で広く利用していただき、昭和 43 年 6 月の時点ですでに 35 版を重ねた。そしてその後も一部訂正を加えながら増刷を重ねてきたが、なにしろ初版以来すでに 20 年以上を経たために、この間、設計理論や施工技術等各分野の進歩も大きく、これに伴って、構造設計規準や建築法規も大幅に改訂されるに至った。

そこで、本書の続刊である第 2 巻の、鉄骨構造、鉄筋コンクリート構造、特殊鉄筋コンクリート構造、動的設計法等の執筆関係者とも協議の上、この際、次の要領で全面改訂することとした。

(1) 旧新制版は、概してその内容が高級細密に失する嫌いがあつて、最近の学生や初歩実務家を対象とする、当初の目標とはずれて来たから、今後は細密な理論を多少減しても、むしろ実用的な性格を持たせる（この意見は旧新制版が初歩実務家対象の教材として、あるいは建築士試験問題の出題を対象として、いままでに多く利用されている事実に基づくものようである）。

(2) 前述のように、建築学会の各種規準や建築法規が再三にわたって改正されているので、これに照らして最新のデータに基づいて書き改める。

(3) たびたびの増刷により紙型も損耗したこの際、専修学校や高専、短大、あるいはまた大学学部の教材に適するよう全面的に改訂して、名称も「大学課程 建築構造学」と改名することとする。

この全体の方針に従い、本書もその名称を改名することとなったが、その内容改訂のうち注意していただきたい主な事項は次のとおりである。

(1) 今回の「大学課程 建築構造学 (1)」のうち、第 1 章を構造一般として、

より充実させ、建築材料と構造法、各種構造の防災性と耐久性のことを一般常識として新しく挿入した。

(2) 第2章と第3章の一部には旧新制版のほか、竹山謙三郎著「住居構造学(日本女子大学家政学部通信教育部刊)」の一部をそのまま利用しているから、この点お断りしておく〔因に上記住居構造学は筆者の一人竹山が東京都立大学や日本女子大学の住居学科(いずれも大学課程)または日本女子大学の通信教育部の講義の経験により旧新制版を大幅に改訂したものである〕。

(3) 第2章から第6章の全体にわたり、学会規準や法規の改正点は、最新の版ですべて訂正済みであるが、そのうち法規に関連する部分に関しては、今後も随時改正が考えられるので、注意していただきたい。

(4) 特にこの第1巻について執筆のおもな方針、あるいは従来類書に比べて若干特長と思われる点を挙げれば、まず第一に、最近基礎構造学が非常に進歩したので本書でもできうるかぎりその最新の知識をとり入れることとした。この点従来の経験を主として記述した類書とは相当趣を異にすると思う。また木構造はわが国でここ三十数年の間に非常に進歩した学問であるが、従来はとかくわが国在来の経験手法を基とした設計と、新しく進歩した科学的設計とが独立して、両者の間に大きな隔たりのあることを遺憾に考えていたので、今回はなるべくこれを近づけることに努めた。

なお、本書の執筆は第1章 構造一般、第2章 基礎と地業、第3章 木構造を竹山謙三郎、第4章 屋根、第5章 造作と仕上げ、第6章 建具を桜井良雄が担当した。

終りに、本書が教材として広く普及し、一層勉学に役立つことを希ってやまない。

昭和52年11月

著者らしるす

目 次

第1章 構 造 一 般

1・1 各種の建築材料	1
1・2 材料と構造法	2
1・3 各種構造の防災性	5
1・4 各種構造の耐久性	6
演習問題	9

第2章 基礎と地業

2・1 基礎と地業の役目	11
2・2 地盤の調査法	15
2・3 基礎の形式と構造設計	23
2・4 地業の形式	24
2・5 根切りと山止め	35
演習問題	39

第3章 木 構 造

3・1 外力（風圧力，地震力）に対する木造骨組の計画	41
3・2 軸組の構造	48
3・3 床の構造	57
3・4 屋根骨組の構造	62
3・5 継手と仕口	70
3・6 木造の計算法	79

演習問題	93
------	----

第4章 屋根

4・1 屋根の形式	103
4・2 傾斜屋根の下地と軒まわり	105
4・3 傾斜屋根のふき方	107
4・4 ろく屋根	116
4・5 雨仕舞ととい	118
演習問題	123

第5章 造作と仕上げ

5・1 天井の造作と仕上げ	125
5・2 内壁の造作と仕上げ	130
5・3 外壁の仕上げ	137
5・4 床の仕上げ	145
5・5 階段	152
5・6 和室の造作	158
5・7 左官、塗装および経師仕上げ	167
演習問題	175

第6章 建具

6・1 概説	177
6・2 木製建具	185
6・3 金属製建具	192
6・4 特殊建具	197
6・5 建具金物	201
演習問題	206

演習問題解答	207
--------	-----

索引	213
----	-----

第1章 構 造 一 般

1・1 各種の建築材料

今更エスキモーの氷の家を持ち出すまでもなく、建築の主体構造部（柱、はり、壁、床等をいう）をつくる材料としては、古来その土地で産出されるほとんどあらゆる材料が使われてきた（誤解のないように記すと、エスキモーの氷の家といっても氷に穴を掘って住むのではなく、図1・1に示すようなまぐさ状の氷片を切り出してこれを地上にアーチ型に積み上げて家としたものである）。

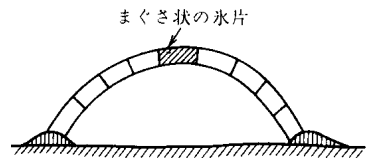


図1・1 エスキモーの氷のアーチの家

また別の例をあげれば、我が国の和風の住宅のように古来から我が国にその資源の多い木材や竹を組んで下地をつくり、これに土とわらをこね合わせて塗り付けた土壁や、中央アジアの遊牧民が牛や羊の糞と泥をこね合わせて、木の枝などで組んだ下地に塗り固める泥壁も、現地産材料利用の代表的のものであろう。

以上のほか、石材の産出が多く地震の少ない地方では、石材が主要建築材として利用されたことはいうまでもないことで、またスペイン、北アフリカ、中近東、中国北部から中南米にかけて太陽熱が強く空気の乾燥した地方では、粘土を成型して太陽熱で乾かし固めたアドーベ（Adobe）という日乾しれんがが建築構造物として多く用いられ、アドーベは粘土を成型して炉で焼いた焼れんがとともに古来から最も普遍的な建築材料となっている。

これらの材料を使う建物は、その材料によりおのずからその構造形式が決まってきた、その土地固有の特色をもっているわけであるが、近代産業が発達して、

鉄、セメント、板ガラスという近代材料が生産されるようになり、なおかつ構造力学の発達と相まって、鉄骨構造と鉄筋コンクリート構造の工法が進歩してから、建築構造も急激に変化し、また世界各地にもほぼ類似の姿の建物が普及することとなった。

なお戦後は合成樹脂（プラスチック）の発達が目覚ましく、あまり遠くない将来には部分的にはプラスチックを構造主体とする建物の出現が未来学者達によって空想されている。

以上に述べた代表的な建築構造材料、すなわち木材、鉄材、石材、れんが（焼きれんが、日乾しれんがもほぼ同様）、コンクリート、鉄筋コンクリート（reinforced concrete、略してRC）等の骨組には特長的な相違がある。

1・2 材料と構造法

1. 架構式構造

木材や鉄材を使う構造では材料の素材が直線材なので**架構式**といって図1・2(a)左のように柱、はり等の直線材の末端をつなぎ合わせて（このつなぎ部分を**継手**という）門型の骨組の主体をつくり、骨組が横力を受けてもゆがまないように斜めの材（斜材または筋かい）を入れてトラス形式とする。このうち特に鉄材では継手の止め付けが完全にできるため、非常に広い床面積を覆う屋根構造として他の材料の追従を許さない特色が発揮されている。

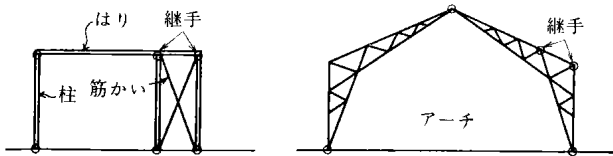
2. 組積式構造

石、れんがなどを使う構造では、材料が小単位から成り立っているので、**組積式**^{そせき}といって、材料を地上から一つ一つ順に積み上げ、上部からの重量による互いの摩擦力によってもたせる形式をとる〔図1・2(b)〕。したがって、この構造では壁が建物の主体となっているので、壁をたくさん使わなければならない、したがってあまり大きな部屋をとることができず、部屋も小部屋に限られる。

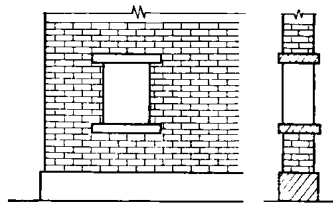
3. 一体式構造

コンクリートまたは鉄筋コンクリート構造では普通、現場に鉄筋を組み、その外側に型わくを組んで、その中にコンクリートを流し込んで固める。したがってその構造形式は木材や鉄材等による架構式と違って、柱とはりの接合部に継手の

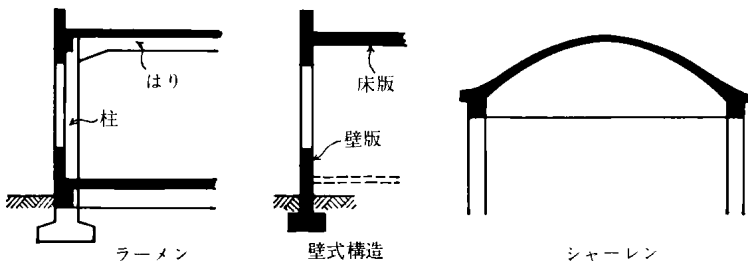
ない**一体式** (monolithic) のものとなっていて [図1・2(c)], はりから柱への部材断面はほぼ連続的に変化しており, 通常の架構式のように継手がずれて骨組が変形することがないのが大きな利点である. このため一体式構造では大きな床面積を覆う骨組が多い. 通常図1・2(c)に示す**ラーメン** (Rahmen) 形式が多いが, しばしばラーメン構造より更に屋根版材料を節約するために**シャーレン構造**その他の**波形屋根構造** (屋根版を鉄板の生子板のように波形に曲げた RC 版) やあるいは**曲面構造** (体育館の屋根等によく用いられる RC 曲版構造) または**折版構造** (扇子状に折り曲げた RC 屋根版構造) をつくって屋根版を薄くし, 通常の平面版屋根の場合に比較して, 材料を非常に節約することに成功しているが, これもすべて RC の屋根版を一体に打ち立てることのできる一体式構造が生まれてから



(a) 木材または鉄骨材を利用した構造 (架構式)



(b) 石材, れんがなどを利用した構造 (組積式)



(c) 鉄筋コンクリートを利用した構造 (一体式)

図1・2 材 料 と 構 造 形 式

可能となったものである。

上の記述の中でシャーレン構造というのは、普通平版となっている RC の屋根版を化学実験に用いられる薄いさら（シャーレ）を伏せたような形状としたものである。RC の屋根が通常のラーメンのように平版の場合は、版の中央に加えた荷重によって床版の断面内に曲げモーメントが起きるから、引張力に弱いコンクリートに対して版の厚さが 20 cm 以上にもなるのに対して、さら状の構造の場合は上方から圧力を加えた場合にさらの面内に圧縮力だけしか起きないので、コンクリートに対しては非常に有利となり、相当に広いスペースを覆うシャーレの場合でも版厚が 8~10 cm 程度ですみ、材料が非常に節約できるため戦後は盛んに用いられるようになったものである。

なお、このシャーレン構造の場合には、シャーレの面内に起こる圧縮力によってシャーレを支える壁骨組が水平に開いてはならない。このためシャーレン構造ではシャーレの周囲に太い水平のたがを回し、壁が水平に広がらない注意が絶対に必要である。

RC 壁式構造 なお、戦後は通常のラーメン構造から柱型やはり型を除き、室の上下の床の版と四周の外壁や間仕切壁から構成された箱のような構造として横力に耐えさせる構造法が開発されて、床面積の割に壁の多いアパートやマンションに活用されている。これを**壁式構造**〔図 1・2 (c) の中央〕と呼んで、これも鉄筋コンクリートの一体性を活用したものである。

4. プレハブ構造 (pre-fabricated construction)

以上のほか、最近では RC の壁式構造で、床版、天井版、周囲の外壁または間仕切壁（窓や戸口の開口があってもよい）だけを工場で事前に製作(**pre-fabricate**)し、これらのプレハブ材を現場へ運んで現場でつなぎ合わせて組み立てる構造形式のいわゆる**プレハブ** (pre-fab) が普及してきた。これらプレハブ工法は RC 建築の工場生産化に一步を踏み出したもので、現場工期の短期化、したがって建築費の経済化という意味で、その将来に大きな可能性をもつことが高く評価されているが、現在のところ継手の工法とその耐震性に種々の問題が残っており、まだ将来の研究に待つべきものが多い。

なお、プレハブ工法は戦後木造住宅でいち早く開発されたもので、その後軽量

鉄骨やRCを用いたプレハブ住宅も多数市販されている。

1・3 各種構造の防災性

1. 木 構 造

木構造は我が国では最も建築費を安くすることができるのと日本国民の趣向のために、全建築量の90%を占めているが、耐火性、耐久性では他構造に著しく劣ることは周知のとおりである。また、従来の我が国の木構造は力学的配慮が不十分であったから、耐震、耐風の点ではぜい弱なものが多かったが、木材が将来主要建築材料の一つとして残らざるをえない以上、その欠点の改良は我々として大いに研究すべきことであろう。

2. 鉄 骨 構 造

鉄骨構造は軽く、かつ強さと粘り（倒壊までの変形）が非常に大きいから地震に対しては最も安全であるし、風圧力に対しても十分安全な構造とすることができる。ただし、鉄骨、特に鋼材はコンクリートやその他の防錆材料で完全に覆われていないかぎり、さびが発生するために耐久性は少なく、かつまた火災に対する抵抗も低い、すなわち、鉄は熱せられれば燃えなくても強度が低下し*、温度膨張であめのように変形するからである。

3. 石造、れんが造

一般に耐火性、耐久性が最も大きく、エジプトやメソポタミアでは何千年の歴史を保っていることは周知のとおりである。また、建物としての重量が大きいから風圧に対する危険性は少ない。しかし、地震に対する抵抗性は最も弱い。したがって、我が国では石材産地付近その他極限された地域以外では石材はあまり用いられない（例えば、宇都宮市付近で産出される軟石凝灰岩の大谷石は軟らかく加工しやすく、使いやすい材料だが、産地の宇都宮市付近以外では旧帝国ホテルの例外を除き建築構造自体にはあまり使われないようなものである）。

4. 鉄筋コンクリート造と鉄骨鉄筋コンクリート造

一般に耐震、耐風、耐火の利点を備えており、特に鉄骨と併用された鉄骨鉄筋

* 鋼材は通常の火災温度（1200℃）よりずっと低い400～500℃に熱せられれば強度は常温の1/2にも低下する。

コンクリート造（略称 SRC）は我が国では耐震上最も信頼性の高い構造とみられている。東京の市街地では5階以上の建物は SRC 構造が推奨されている。

1・4 各種構造の耐久性

1. 建物の物理的耐久命数と機能的耐久命数

建物の耐久命数（寿命）は物理的耐久命数と機能的耐久命数の二つに分けることができる。**物理的耐久命数**とは、建物の構造体が腐朽または老朽化して、地震や風力に対して安全性が失われた場合、あるいは雨漏り等の障害が激しくなって補修費等に多額の費用がかかり、改築したほうが有利な場合をいう。**機能的耐久命数**とは、建物の計画、デザイン、設備等が時代遅れとなってその建物本来の使用目的に合わなくなった場合をいう。後者に対しては商業建築では**陳腐化**という言葉を使うことがある。先年解体されて明治村に移築された旧帝国ホテルは、約50年前に建築されたものであるが、基礎の不備が原因でむねの両端で1m程度の不同沈下を起し、その壁体や屋根版に無数のき裂が発生して、地震に対する懸念が出てきたほかに、雨漏りの修理のため莫大な費用がかかるというように物理的耐久命数が尽きたのと、更に設備その他が老朽化して宿泊希望者が激減するという具合で機能的耐久命数も尽きたために上述のような運命となったのである。

なおまた、大都市のデパートやパチンコ屋は絶えず店内大改装を行っているが、これは絶えず改修することにより陳腐化の印象を免れるためである（現にデパートでは店内改造のたびに売上げがぐんと増えるそうである）。

2. 建物の物理的耐久命数

〔1〕 **木造建物の物理的耐久命数** 建物の物理的耐久命数は構造物の種類や環境条件によって非常に異なる。例えば、いわゆる借家普請のようなチャチな木造で、日常の手入れの行き届かないものは、耐久命数は30年くらい*といわれているが、東大寺や法隆寺のように木材も良質、頑丈で手入れの行き届いているものは木造でも1000年以上の寿命を保つ。

〔2〕 **周囲条件と手入れ** 鉄骨建築は鋼材の腐食しやすい海岸やスモッグ地帯にあるかどうかという周囲条件が非常に関係するが、塗装その他日常の手入れ

* 住宅金融公庫では、木造の寿命は18年として融資計算を行っている。

が決定的影響をもつ。管理の行き届かない工場や学校等では窓サッシの腐朽は特に早いようである。

〔3〕 鉄筋コンクリート造の物理的耐久命数の意味 鉄筋コンクリート造では、鉄筋を包んでいるコンクリートがアルカリ性を保っている間は鉄筋はさびないという特性をもっているが、コンクリートは空気中の CO や SO_3 の影響でその表面から次第にアルカリ性を失い、中性化するので、この中性化が鉄筋の深さにまで達すると鉄筋はさび始める。鉄はさびるとその体積が急激に膨張し、外側のコンクリートにひびを入れ、このひびから雨水が浸入してさびはますます激しくなり、場合によると鉄筋がさびてなくなってしまう場合がある。通常、コンクリートの中性化が鉄筋の位置まで進んで、鉄筋がさび始め、コンクリートにひびの入った時期をもって鉄筋コンクリートの耐久命数がきたものとみている。

(a) コンクリートと中性化の進度 鉄筋コンクリートの表面から x [cm] の深さにある鉄筋まで中性化が進む年数 (t 年) は通常のポルトランドセメントの場合は $t=7.5x^2$ であることが実験によって確かめられている。RC 構造のかぶり厚さは法令で 2 cm が最小と定められているが、これは通常 3 cm くらいと見られるから、ポルトランドセメントを用いた通常の鉄筋コンクリートの場合、その命数は $t=7.5 \times 3^2 \div 70$ 年ということになり、通常鉄筋コンクリートが永久建築といわ

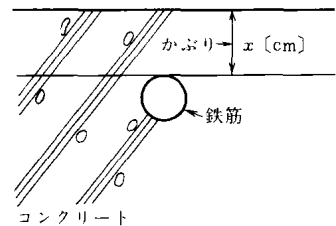


図 1・3 鉄筋コンクリートのかぶり

れているのに対して意外にその寿命が短いこととなる。上の式は比較的良質のコンクリートに対する実験結果であって、通常の場合コンクリートは非常にその回りが悪く、“す”や“ジャンカ”が多いとみななければならないので、この“す”を通して空気や雨水がコンクリートの内部に浸透し鉄筋のさびが急激に発達して耐久命数が上記の 70 年よりはるかに少ないケースが非常に多いとみられている。

なお RC の構造体には、次に述べる種々の原因でき裂が入ることが多いから、このき裂から浸入する雨水で、コンクリート内部の鉄筋は意外に早期にさびる。したがって、以上を要約すると、RC の耐久命数は予想外に短いから、その耐久命数はあまり長くを期待しないに限る。

以上のような理由で、RCの構造体にき裂が入ることは耐久命数のうえから大禁物なので、RCの構造体にはき裂を入れないよう、設計・施工にあたって十分注意する必要がある。

次に、RC構造に発生するき裂とその発生原因を記すこととしよう。

(b) RC造に発生するき裂とその原因

(1) き裂がRC造壁体の表面に垂直または水平に発生している場合は、内部の鉄筋のさびによってき裂ができたものとみてよい(RC造の内部の鉄筋は多くの場合、構造体の表面に沿って水平または垂直にそう入してあるので、コンクリートの表面のき裂もこれに沿って起こるからである)。

なお前記のき裂は、ひさしの先端や、窓脇壁の出すみや、外方へ突出した柱型の隅角部にも起こりやすい(この理由は、このような部分はコンクリートが配筋に妨げられてその回りが悪く、“す”がしやすいこと、また、コンクリートの出すみ部分は外気との接触面積が多いので、中性化も激しいからである)。

以上の理由により、RC建物の外側にはあまり凹凸をつけないこと、鉄筋のかぶり、したがってコンクリートの厚さ(すなわち部材断面)もなるべく大きくとるのがよい(部材の断面が小さくなると鉄筋のかぶりも少なくなりがちである)。

(2) コンクリートに添加される混合物の影響によって鉄筋のさびの多少が異なる。例えば大正時代には、冬期にコンクリートを早く硬化させるために塩化カルシウム(CaCl_2)を混入したので、このClの作用でこのような建物では鉄筋がさびたものが多い。また冷蔵庫や屋内スケート場などでは塩水(NaCl)を送ることが多いから、この塩水が漏れて鉄筋をさびさせた例は非常に多い。また大正時代には工場、病院などの建物では床のすべり止めのため、摩擦の多いリグノイドという、おがくずとアスファルトを混合し^{にがり}苦汁(MgCl_2)で固めた床仕上材をよく用いた。このClのためリグノイド仕上げの床では鉄筋が数年の間にさびてなくなってしまったものが多いから、大正時代に建った古い建物を再使用する場合は注意が肝要である。

(3) コンクリート床は打ち立てた後ほとんど必ず複雑な乾燥収縮を起こす。このため屋根版や床版等では不規則な毛状き裂が一面に発生し、雨漏りの原因となることが多い(この原因はコンクリートの打立て時に、コンクリートの自重に

よって鉄筋の下端のコンクリートが下がり、鉄筋の下部に空洞ができ、この空洞が原因となってコンクリートの乾燥収縮を起こすのである）。このき裂を防止するためには、一般にコンクリートの混合水量を少なめとし、また例えばコンクリートの打立て後、コンクリートの表面を木の棒や板でたたいて、いったん鉄筋下端のコンクリートの空洞をつぶしておくのがよいといわれている（これを再たたき法と呼んでいる）。

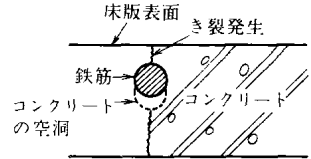


図 1・4 RC 床版のき裂発生原因

(4) 建物の重量は各部一様でなく、また建物を支える地盤が軟弱な場合はほとんど必ず建物に不同沈下を起こして、建物の外壁に斜めき裂を発生する（旧帝国ホテルはその好例）。このことは第 2 章の基礎構造の項で詳述する。

(5) 建物が局部的に太陽熱で暖められるか、もしくは冷却されると建物が不均一に膨張収縮を起こして、このため骨組にせん断力が加わり、外壁に独特の斜めき裂が発生する。

以上を要約すると、RC 建物の骨組に大きい斜めき裂が発生している場合は、不同沈下か不均一な熱応力を受けたものとみてよい。

演 習 問 題

- (1) 建築構造材料（主要骨組を構成する材料のこと、ガラスは含まない）の主要なもの五つをあげよ。
- (2) 建築構造の代表的な形式三つをあげ、おのおのに対して主要な構造材料をあげよ。
- (3) 建築の各種材料の構造法について、耐震、耐風、耐火性を比較せよ。
- (4) 日本国内において現地材料をそのまま応用する建築の構造例をあげて報告せよ。
- (5) RC プレハブの利点と欠点を述べよ。
- (6) RC 建物に発生するき裂の原因の主なもの四つとその原因をあげよ。

