

最新土木工学シリーズ 9

最新 コンクリート工学

小林一輔 著

最新土木工学シリーズ

最新 | コンクリート工学

小林一輔 著

東京大学助教授 工学博士

森北出版株式会社

著 者 略 歴

小林 一輔

1929年 東京都に生まれる
 1954年 東京大学工学部土木工学科卒業
 同 年 運輸省運輸技術研究所
 1958年 東京大学に出向、生産技術研究所
 1963年 東京大学助教授
 1967年 土木学会賞（吉田賞）
 1970年 工学博士 現在に至る
 〔現住所〕 神奈川県相模原市鶴野森571番地

グリーンハイツ D4-205

最新土木工学シリーズ9.
 最新 コンクリート工学

© 小林一輔 1976

1976年3月15日 第1版第1刷発行

定価はカバー・ケース
 に表示してあります。

著者との協議
 により検印は
 廃止します。

	こ	ばやし	かず	すけ
著 者	小	林	一	輔
発行者	森	北	常	雄
印刷者	篠	倉	鉄	郎

発行所 森北出版 株式 株式会社 東京都千代田区富士見 1-4-11
 電話 東京 (265) 8341 (代表)
 振替 東京 1-34757 郵便番号 102

日本書籍出版協会・自然科学書協会・工学書協会 会員

落丁・乱丁本はお取替いたします

印刷 第一印刷所／製本 丸原製本

3351-3479-8409

Printed in Japan

序 文

本書は主として大学の学部、高専ならびにこれらに相当する学校におけるコンクリート工学の教科書としてまとめたものである。

本書はその方法如何により、週1時限の授業を1年間で終了するようなコースに使用することもできるし、6か月間で終了するようなコースに用いることも可能である。

本書においてとくに留意した点は下記の通りである。

- 1) できる限り簡条書きを採用し、必要以上に詳細にわたる記述は極力これを避けた。
- 2) 最近のコンクリート工学の進歩に照し、必要と考えられる事項は項目のみでも可能な限りかかげるようにした。
- 3) 土木学会コンクリート標準示方書の最新版ならびに日本工業規格の最も新しい動きに準拠した。とくに前者に関しては、その関連する主要部分はおおむね本書にとり入れた。
- 4) 教科書としての立場から、極力客観的な記述を心掛けた。
- 5) 繊維補強コンクリートやレジンコンクリートなどの新しい複合系コンクリートについてもその概要を記述した。

本書を執筆するに当たっては多くの文献を参考にした。引用させて頂いた著者の方々に心から御礼申し上げる。なお、全般にわたって参考にさせて頂いた単行書は下記の通りである。

土木学会：コンクリート標準示方書および解説

樋口芳朗・村田二郎・小林春夫：コンクリート工学(I)施工(彰国社)

丸安隆和・水野俊一：コンクリート工学(コロナ社)

近藤泰夫・坂 静雄：コンクリート工学ハンドブック(朝倉書店)

なお、本書は紙数の都合で、日本工業規格に規定されている各種の試験方法の詳細については記述を省略してある。したがって、授業に際しては土木学会コンクリート標準示方書(本文とともに規格・基準類を集録したもの)と併用される

ことを希望する。

筆者の手落ちのために、誤りや不備な点があると思われるがご寛恕とご教示をお願いする次第である。

最後に本書の出版に当たり大変お世話になった森北出版の方々，とくに太田三郎氏に深甚の謝意を表する。

1976年 2 月

著 者

目 次

第1章 総 論

1・1 定 義	1
1・2 セメントコンクリートの歴史	1
1・3 セメントコンクリートの構成と広義のコンクリート	2
1・4 コンクリートの特性	3
1・5 コンクリートに関する規格と学協会	4

第2章 材 料

2・1 セ メ ン ト	6
(1) セメントの種類 6 (2) ポルトランドセメントの製造 6	
(3) ポルトランドセメントの化学成分・化合物 8	
(4) ポルトランドセメントの水和 9 (5) ポルトランドセメントの風化 11	
(6) セメントの品質とその試験 12 (7) 高炉セメント 14	
(8) シリカセメントおよびフライアッシュセメント 16	
(9) 白色ポルトランドセメント 17 (10) アルミナセメント 17	
(11) その他のセメント 18	
演習問題	19
2・2 混 和 材 料	19
(1) 概 説 19 (2) 混 和 材 20	
(3) 混 和 剤 22	
演習問題	25
2・3 骨 材	25
(1) 概 説 25 (2) 吸水率および表面水率 26	
(3) 比 重 27 (4) 粒 度 28	
(5) 粒 形 31 (6) 単位容積重量 32	
(7) 有 害 物 32 (8) 耐 久 性 34	
(9) すりへり抵抗 34 (10) 砕 石・砕 砂 34	
(11) スラグ骨材 35 (12) 海 砂 36	
(13) 人工軽量骨材 37 (14) 重 量 骨 材 40	

演習問題	41
2・4 水	41
2・5 鉄筋およびP C鋼材	42
(1) 鉄筋	43
(2) P C鋼材	44
演習問題	45

第3章 まだ固まらないコンクリートの性質

3・1 概 要	46
3・2 ワーカビリチー	46
(1) 作業に適するワーカビリチー	46
(2) ワーカビリチーに影響をおよぼす諸要因	46
(3) 試験方法	47
3・3 コンシステンシー	47
(1) 概 要	47
(2) コンシステンシーに影響をおよぼす諸要因	47
(3) 試験方法	47
3・4 材料の分離	49
(1) 概 要	49
(2) コンクリートの取扱い中における材料の分離	49
(3) コンクリート打込み後の材料の分離	50
(4) 材料分離の測定法	51
3・5 コンクリート中の空気泡	51
(1) 概 要	51
(2) 空気量に影響をおよぼす諸要因	52
(3) 空気量の測定法	53
3・6 初期ひびわれ	54
(1) 沈下収縮ひびわれ	54
(2) プラスチック収縮ひびわれ	54
演習問題	54

第4章 硬化したコンクリートの性質

4・1 単 位 重 量	55
(1) コンクリートの単位重量と影響する諸要因	55
(2) 設計計算に用いる単位重量	55
(3) 試験方法	55
4・2 圧 縮 強 度	55
(1) 概 説	55
(2) 使用材料の品質と圧縮強度	56

(3) 配合と圧縮強度 57	(4) 施工方法と圧縮強度 59
(5) 試験方法と圧縮強度 63	(6) 材令と圧縮強度 66
4・3 その他の強度	67
(1) 引張強度 67	(2) 曲げ強度 68
(3) せん断強度 69	(4) 支圧強度 69
(5) 付着強度 70	
(6) 組合せ応力を受けるコンクリートの強度 71	
4・4 弾性と塑性	72
(1) 応力ひずみ曲線 72	(2) 弾性係数 72
(3) クリープ 74	(4) 疲労性状 77
4・5 体積変化	78
(1) 水分の変化による体積変化 78	(2) 温度変化による体積変化 79
4・6 コンクリートのひびわれ	81
(1) 概 説 81	(2) 伸び能力 81
(3) コンクリートのマイクロクラック 81	
4・7 耐 久 性	82
(1) 気象作用に対する耐久性 82	
(2) 酸、塩類、油類および海水の作用に対する耐久性 84	
(3) 損食に対する抵抗性 86	(4) 電流の作用に対する抵抗性 86
4・8 水 密 性	87
(1) 概 説 87	(2) 水密性におよぼす配合の影響 87
(3) 水密性の試験方法 88	
4・9 耐 熱 性	88
(1) 概 説 88	
(2) 高温下におけるコンクリートの強度 89	
4・10 中 性 化	89
(1) 概 説 89	(2) 中性化と材料および配合 90
(3) 中性化の試験方法 90	
演習問題	90

第5章 配 合

5・1 概 説	92
5・2 配合の表し方	92
(1) 示方配合と現場配合 92	
5・3 配合設計	93

(1) 試的方法による配合の決定	93	(2) 配合条件の決定	94
(3) 試験配合	95	(4) 試験練りによる配合の調整	98
(5) 水セメント比の決定	98	(6) 示方配合の決定	99
5・4 割増し係数	101		
5・5 配合設計例	103		
(1) 鉄筋コンクリート構造物に用いるコンクリート	103		
(2) 道路の舗装版に用いるコンクリート	106		
(3) 現場配合の計算	107		
演習問題	108		

第6章 施 工

6・1 概 説	109		
(1) コンクリート構造物の施工に当って留意すべき点	109		
(2) コンクリート構造物の施工順序	109		
6・2 材料の計量	109		
(1) 一 般	109	(2) 計量誤差	110
(3) パッチャー(パッチャープラント)	110		
6・3 練 り ま ぜ	112		
(1) 一 般	112	(2) ミ キ サ	112
(3) 材料の投入	113	(4) 練りまぜ時間	114
(5) 練 返 し	115		
6・4 レデーミクストコンクリート	115		
(1) 一 般	115	(2) 種 別	115
(3) 品 質	117	(4) 製 造・運 搬	118
(5) 検 査	119		
6・5 運 搬	120		
(1) 一般的事項	120	(2) ト ラ ッ ク	120
(3) バケツ	121	(4) コンクリートポンプ	121
(5) コンクリートブレーカー	123	(6) ベルトコンベアー	124
(7) シュート	124		
6・6 打 込 み	125		
(1) 打込みのための準備	125	(2) 打 込 み	125
(3) 打 足 し	127		
6・7 締 固 め	128		
(1) 一 般	128	(2) 振 動 機	128

(3) 振動締固め	129	(4) 再 振 動	130
6・8 養 生			130
(1) 一 般	130	(2) 湿潤養生	130
(3) 膜 養 生	131		
6・9 継 目			132
(1) 概 要	132	(2) 打継目の位置および構造	132
(3) 水平打継目の施工	133	(4) 鉛直打継目の施工	133
(5) アーチの打継目	134		
(6) 合成樹脂による新旧コンクリートの打継ぎ接着	134		
(7) 伸縮継目	134		
6・10 鉄 筋 工			136
(1) 鉄筋の加工	136	(2) 鉄筋の組立て	136
(3) 鉄筋の継手	137		
6・11 型わくおよび支保工			138
(1) 概 説	138		
(2) 型わくおよび支保工の材料と構造	139		
(3) 型わくおよび支保工の設計	141	(4) 型わくおよび支保工の施工	144
(5) 型わくおよび支保工の取りはずし	145		
(6) 特殊な型わくと支保工	145		
6・12 表 面 仕 上 げ			146
(1) 一 般	146	(2) せき板に接する面の仕上げ	146
(3) せき板に接しない面の仕上げ	147		
(4) すり減りを受ける面の仕上げ	147		
(5) 装飾仕上げ	147		
演 習 問 題			147

第7章 特殊な条件下で施工するコンクリート

7・1 寒中コンクリート		149
(1) 一 般	149	
(2) 材料と配合の選定に関する基本的事項	149	
(3) 打込み時の温度管理	150	
(4) 打込み後の養生に関する基本的事項	150	
(5) 養生期間	150	
7・2 暑中コンクリート		151
(1) 一 般	151	
(2) 施工上の留意事項	151	

7・3 海洋コンクリート	152
(1) 一 般 152	(2) 材料と配合 152
(3) か ぶ り 153	(4) 施 工 153
7・4 水中コンクリート	154
(1) 一 般 154	(2) 配合を決める際の留意事項 154
(3) 水中コンクリート打ちの原則 154	
(4) ベントぐいの施工 155	(5) 鉄筋のかぶり 155
演 習 問 題	155

第8章 特殊な構造物を対象としたコンクリート

8・1 舗装コンクリート	157
(1) 一 般 157	(2) 舗装コンクリートの配合 157
(3) 舗装コンクリートの施工 158	
8・2 ダムコンクリート	159
(1) 一 般 159	(2) ダムコンクリートの配合 159
(3) ダムコンクリートの施工 160	
演 習 問 題	161

第9章 特殊な機能をもつコンクリート

9・1 軽量骨材コンクリート	162
(1) 概 要 162	(2) 単位容積重量 162
(3) 軽量骨材の含水量の管理 162	(4) 軽量骨材コンクリートの性質 163
9・2 放射源しゃへいコンクリート	165
9・3 水密コンクリート	165
(1) 一般的事項 165	(2) 配 合 166
(3) 施 工 166	
9・4 耐火コンクリート	166
演 習 問 題	167

第10章 コンクリートの特殊施工法

10・1 プレパックドコンクリート	168
(1) 概 説 168	
(2) 注入モルタルの配合が満足すべき条件 168	
(3) プレパックドコンクリートの強度 169	
(4) プレパックドコンクリート施工上の要点 169	

(5) 管理試験	169
10・2 真空処理コンクリート	170
10・3 吹付け工法 (ショットクリート)	171
演習問題	171

第11章 最近の複合系コンクリート

11・1 プラスチックスコンクリート	173
(1) 概 説	173
(2) レジコンクリート	173
(3) ポリマー含浸コンクリート、175	(4) ポリマーセメントコンクリート 176
11・2 繊維補強コンクリート (鋼繊維補強コンクリート)	177
(1) 概 説	177
(2) 繊維の種類と形状寸法	178
(3) 鋼繊維補強コンクリートの諸性質	179
(4) 鋼繊維補強コンクリートの用途	179
演習問題	180

第12章 コンクリート工場製品

12・1 一 般	181
12・2 コンクリート工場製品の特徴	181
12・3 コンクリートの強度	182
12・4 工場製品の成形と養生	182
(1) 締 固 め	182
(2) 促進養生	183
12・5 各種コンクリート製品	184
(1) 道路用製品	184
(2) 管 類	185
(3) 管類以下の下水道およびかんがい排水用製品	188
(4) 土止め用製品	189
(5) ポールおよびくい	189
(6) スラブおよびけた用製品	191
(7) そのほかのコンクリート製品	193
演習問題	194

第13章 コンクリートの品質管理

13・1 概 説	195
13・2 品質変動とその統計的な表し方	195
13・3 管 理 図	197
(1) 管 理 図	197
(2) 管理限界とその求め方	198
13・4 解析用管理図の作り方	199

13・5 施 工 管 理	203
(1) 材料, 機械設備および作業の管理	208
(2) 管理試験	203
(3) コンクリートの管理	203
13・6 品 質 検 査	205
演 習 問 題	208

第 14 章 コンクリート構造物の損傷と補修

14・1 コンクリート構造物の損傷	210
(1) 概 要	210
(2) 損傷の原因	210
14・2 コンクリート構造物の補修	210
(1) ひびわれの補修	210
(2) 道路または空港のコンクリート舗装の補修	211
(3) 橋床版の補修, 補強	212

第1章 総 論

1.1 定 義

広義のコンクリートとは、骨材をセメントペースト、アスファルトまたは合成樹脂などの結合材によって固めたものの総称であるが、一般にコンクリートといえばセメントを結合材としたセメントコンクリートを指す。

コンクリートに関する主な用語について、土木学会コンクリート標準示方書に定められている定義を以下に示す。

コンクリート (concrete) セメント、水、細骨材および粗骨材、必要に応じて

混和材料を加え、練りまぜその他の方法によって一体化したもの

モルタル (mortar) コンクリートのうち粗骨材を欠くもの

セメントペースト (cement paste) モルタルのうち細骨材を欠くもの

鉄筋コンクリート (reinforced concrete) 鉄筋を用いたコンクリートで、外力に対して両者が一体となって働くものをいう

無筋コンクリート (unreinforced concrete) 鋼材で補強しないコンクリートをいう。ただし、コンクリートの収縮ひびわれその他に対する用心のために、鋼材を用いたものは無筋コンクリートとする

プレストレストコンクリート (prestressed concrete) PC鋼材によって、プレストレスが与えられている一種の鉄筋コンクリート

プレキャストコンクリート (precast concrete) コンクリートの硬化後にすえ付けるか、または組み立てるコンクリート部材をいう

1.2 セメントコンクリートの歴史

1824 Joseph Aspdin (英) によるポルトランドセメントの発明

1855 J.L. Lambot (仏), 鉄筋コンクリート製ボートを第1回パリ万博に出品

1873 大蔵省土木寮建築局摂綿篤製造所(東京深川清澄町)の創立

1875 わが国におけるポルトランドセメントの市販開始

1882 北陸線、旧長浜駅舎(無筋コンクリート造り)の建築

- 1890 横浜港岸壁，鉄筋コンクリートケーソン工事
- 1903 琵琶湖疎水運河，山科日岡トンネル東口，鉄筋コンクリート単げた橋
(メラン式，7.45 m)
- 1907 Spindel (独)，早強ポルトランドセメントの発明
- 1907 仏，米においてアルミナセメントの製造
- 1911 水力発電用コンクリートダム，鬼怒川黒部ダム(重力式，高さ32 m)の
着工。
- 1913 八幡製鉄所，高炉セメントの市販
- 1915 房総線，鋸山トンネルの覆工を現場打ちコンクリートで施工
- 1917 S.J. Hayde (米)，人工軽量骨材の試作
- 1918 D.A. Abrams (米)，水セメント比説発表
- 1928 E. Freyssinet (仏)，高強度鋼と高強度コンクリートの使用によるプレ
ストレストコンクリート
- 1929 浅野セメント，早強ポルトランドセメントの市販
- 1929 日本建築学会「コンクリート及び鉄筋コンクリート標準仕様書」制定
- 1931 土木学会「鉄筋コンクリート標準示方書」制定
- 1931 国産計量装置によるコンクリート材料重量計量，お茶の水～両国間高
架線工事
- 1932 Inge Lyse (ノルウェー)，セメント水比説発表
- 1934 浅野セメント，中庸熱ポルトランドセメントの市販
- 1938 米国ニューヨーク州道路舗装に AE コンクリートの使用
- 1949 レデーミクストコンクリート市販，東京コンクリート業平橋工場
- 1950 平岡ダム，AE コンクリート使用
- 1965 三井金属，人工軽量骨材(メサライト)の市販

1・3 セメントコンクリートの構成と広義のコンクリート

コンクリートは不活性の鉱物質充てん材である細粗骨材と，結合材であるセメントペーストから成る2相系材料であって，前者が全体の約65～85% (一般のコンクリートでは75%前後) を占めている。セメントペーストはさらに，セメントゲル，ゲル細孔，空隙，毛管細孔および未水和セメント粒子などから成り，ゲル細孔および毛管孔は自由水で満たされているのが普通である(図1・1参照)。

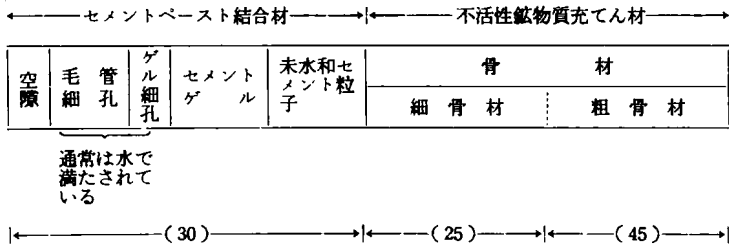


図1・1 硬化コンクリートの組成

以上のセメントペーストを構成する各相は水和反応の進行に伴ってその量に変化する。すなわち、セメントゲルおよびゲル細孔は増加し、毛細管細孔や未水和セメント粒子は減少する。したがって、コンクリートは微視的には相間の比率が時間とともに変化する多相系材料とみられている。

コンクリートは、以上のようにセメントペーストを結合材とするものの他に合成樹脂を結合材としたレジンコンクリート、短い繊維質材料をコンクリート中に分散させた繊維補強コンクリート、コンクリート中の空孔部分に合成樹脂を含浸させたのち硬化させ、コンクリート部分と一体化してつくったポリマー含浸コンクリートなどがあり、これらは広義のコンクリートといえる(図1・2)。

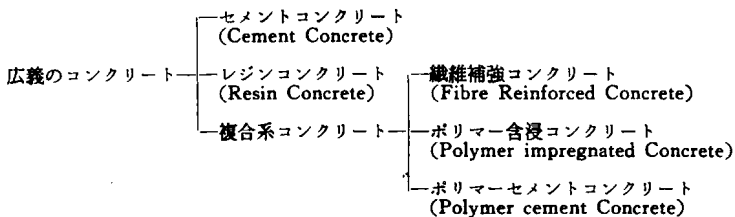


図1・2 広義のコンクリート

1・4 コンクリートの特性

コンクリートの長所ならびに短所を下記に示す。これらのうち、性質に関するものは使用場所や対象とする構造物の種類によって長短が入れ変わる場合がある。

長 所

- ① 形状および寸法に制限なく、部材や構造物をつくることのできる
- ② 材料の入手が容易である

- ③ 任意の強度のものをつくることができる
- ④ 耐久性、耐火性がすぐれている
- ⑤ 安価である
- ⑥ 製造、施工が容易であって、特別の熟練工を要しない
- ⑦ 構造物の維持費をほとんど要しない
- ⑧ 大断面で安定性を必要とする構造物または大きい曲げモーメントに抵抗するような剛性の高い構造物を経済的につくることができる

短 所

- ① 重量が大きい（重力ダムや海洋構造物などでは長所となる）
- ② 引張強度が小さい
- ③ ひびわれを生じやすい（施工直後に発生するもの、硬化熱や乾燥収縮によるもの、外力によるものなど）
- ④ 硬化するのに時間を要する（施工日数が長い）
- ⑤ 現場施工の場合、品質管理が難しい（施工が粗雑になりやすい）
- ⑥ 構造物の解体、撤去が困難である。

1・5 コンクリートに関する規格と学協会

（1） 示方書（仕様書）、指針

- ③ 土木学会：コンクリート標準示方書，プレストレストコンクリート標準示方書，海洋コンクリート構造物設計施工指針など。
- ④ 日本建築学会：建築工事標準仕様書（JASS 5 鉄筋コンクリート工事）など。
- ⑤ 建設省，運輸省，国鉄，道路公団，電力会社なども，それぞれコンクリート構造物の設計施工に関する示方書類を定めている。

（2） 規 格，法 律

- ③ 日本工業規格：コンクリートならびにその材料に関する数多くの規格が制定されている。
- ④ 土木学会，日本材料学会，日本道路協会，水道協会などの学協会や，国鉄，農林省その他の官公庁などで定めている規格類：JIS に規定されていないもの，JIS よりも制限された内容を要するもの。