

ISSN 0386—5878

土木研究所資料第3193号

土木研究所資料

ダムコンクリートの直接引張強度 についての実験的検討(その2)

平成5年5月

建設省土木研究所
ダム部ダム構造研究室

Copyright © 1993 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

ダムコンクリートの直接引張強度 についての実験的検討（その2）

ダム構造研究室 室 長 永 山 功
主任研究員 渡 辺 和 夫
首 藤 美 誠
前ダム構造研究室 尾 畑 伸 之*
*建設省建設経済局国際課

要 旨

近年、動的解析法を用いたコンクリートダムの耐震性の評価、RCD工法を用いたコンクリートダムにおける温度規制のための温度応力解析など、コンクリートダムの設計、施工の合理化の要請に伴って、ダム堤体コンクリート内に発生する引張応力とダム用コンクリートの引張強度の関係を詳細に取り扱わなければならない問題が増えてきている。

本報告書は、直接引張試験装置を用いてコンクリートの直接引張強度を測定し、コンクリートの配合、一軸圧縮強度、弾性係数、割裂強度、荷重載荷速度等と直接引張強度の関係についてとりまとめたものである。

キーワード：コンクリート、引張強度、圧縮強度、載荷速度、RCD用コンクリート

はじめに

現行のダム設計基準に基づく重力式コンクリートダムの構造設計では、鉄筋等によって補強される局所的な部位に発生する引張応力を除いて、基本的にダム堤体内に引張応力が発生することを認めていない。一方、アーチ式コンクリートダムの場合には、その堤体内に多少の引張応力が発生することを認めているが、万が一にも引張ひび割れが生じるような場合には、応力の再配分によってダム堤体の二次的な安定性が確保されることを確認するようになっている。このようにコンクリートダムの構造設計においては、コンクリートの圧縮強度が設計上の主要な要素となるのが一般的であって、コンクリートの引張強度が設計上の問題となることはきわめてまれであったといえる。

しかし、近年、動的解析法を用いたコンクリートダムの耐震性の評価、RCD工法によるコンクリートダム施工時の温度規制のための温度応力解析など、ダム堤体コンクリート内に発生する引張応力とダム用コンクリートの引張強度の関係を詳細に取り扱わなければならない問題が非常に増えてきている。このため、ダム用コンクリートの引張強度を正しく評価することが、コンクリートダムの構造設計の合理化における重要な課題の一つとなっている。

このような背景から、ダム構造研究室ではダム用コンクリートの引張強度に関する調査研究を進めてきており、有スランプのダム用コンクリートについては既にその検討結果をとりまとめている。¹⁾

本報告書は、RCD工法に用いる貧配合で超硬練りのRCD用コンクリートについて同様な調査研究を行い、その結果についてとりまとめたものである。

目 次

はじめに

1. 試験方法及び試験装置の概要	1
1.1 試験方法の概要	1
1.2 試験装置の概要	2
1.3 接着剤の性質	3
2. 試験目的及び試験条件	5
2.1 試験目的	5
2.2 RCD用コンクリートの配合及び使用材料	5
2.3 供試体寸法及び供試体作製方法	5
1) 供試体寸法	5
2) 供試体作製方法に関する予備的検討	6
3) 供試体作製方法	6
2.4 試験条件	8
1) 載荷速度	8
2) 供試体本数	9
3) 試験材令	9
3. 試験結果	10
3.1 圧縮強度，割裂強度，直接引張強度	10
3.2 直接引張強度と弾性係数	17
3.3 載荷速度が直接引張強度と弾性係数に及ぼす影響	20
4. まとめ	26
参考文献	26

1. 試験方法及び試験装置の概要

1.1 試験方法の概要

コンクリートの引張強度を正しく求めるためには、供試体に引張力を直接載荷することが必要であるが、一般にはその簡便性からJISに規定されている間接的な引張試験（割裂試験）が広く利用されている。しかし、コンクリートの引張強度を直接的にかつ厳密に求めるには、やはり直接引張試験が必要である。今回の試験においては、このような直接引張試験として、圧縮試験用の円柱供試体（標準供試体：直径15cm、高さ30cm）の両端面に引張用載荷盤をエポキシ系接着剤で接着し、これを引張試験機の載荷部にボルトで取り付けて、引張荷重を載荷する方法を採用した。

本試験の手順は次のとおりである。

- ① 試験機にアタッチメントを取り付け、載荷面に接着剤を塗布する。（図-1.1（a）参照）
- ② 試験機に供試体をセットし、わずかに圧縮荷重を加えながらアタッチメントに供試体を接着する。（図-1.1（b）参照）
- ③ 上下のアタッチメントを鉄製の治具（3箇所）で固定する。（図-1.1（c）参照）
- ④ 接着剤がある程度硬化した後（気温20℃で約40分）、アタッチメントを固定しているボルトをはずして、試験機から供試体ははずす。（図-1.1（d）参照）
- ⑤ 複数の供試体を試験する場合には①～④を繰り返す。
- ⑥ 接着剤が完全に硬化した後（通常24時間）、供試体を再び試験機にセットしてから固定用治具を取りはずす。
- ⑦ ひずみを計測する場合には、ひずみゲージを貼り付ける。
- ⑧ 引張力を載荷して供試体を破壊させる。
- ⑨ 試験後の供試体を試験機から取りはずし、約200℃の乾燥炉の中に入れて接着剤を溶かし、

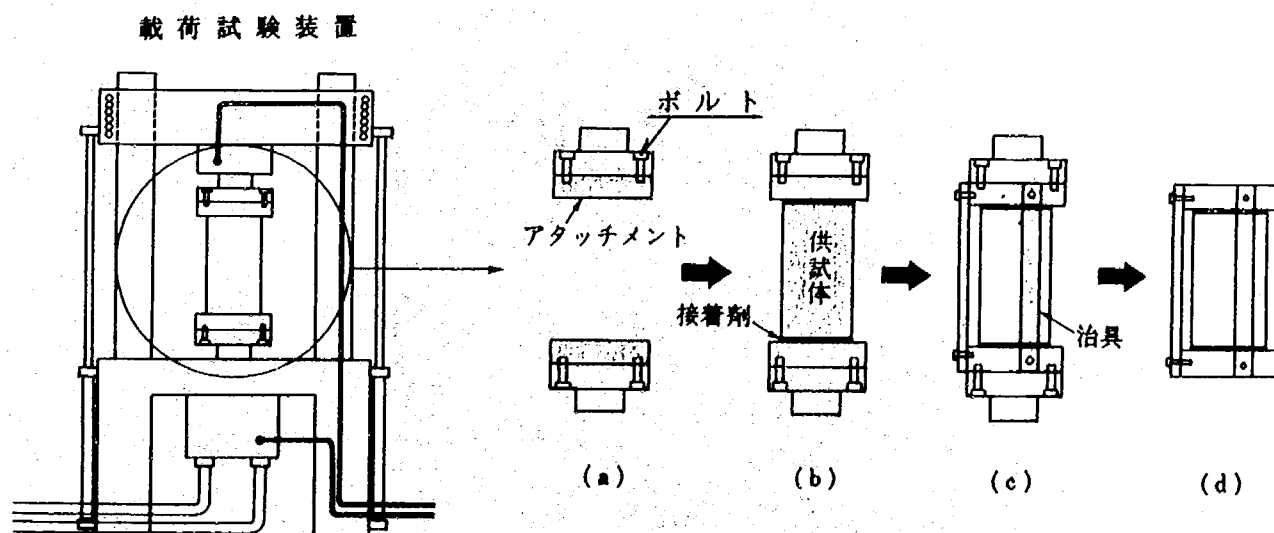


図-1.1 供試体端面への載荷盤接着方法の手順

アタッチメントを供試体から取りはずす。

なお、この試験方法は次のような特徴を有している。

- a) 供試体の作製に特別な型枠を必要とせず、一般的な型枠を利用して供試体を作製できる。
- b) 供試体中にフック等を埋設する必要がないため、均質な供試体の作製が容易にできる。
- c) 通常の万能試験機で試験が可能である。
- d) ボーリング採取コア等を用いた試験も可能である。

1.2 試験装置の概要

写真-1.1に試験装置の外観を、表-1.1に試験装置の諸元を示す。この装置は、電気式油圧サーボ方式により荷重制御、変位制御の二つの制御が可能であり、どちらの制御状態においても、矩形波、三角波および正弦波による動的载荷を行うことができる機能を有している。また、荷重、ひずみの測定はそれぞれ荷重計、ひずみ計を用い動ひずみ計測器によって測定した。動ひずみ計測器は各チャンネル毎に独立しており、それぞれのチャンネルにA/D変換器を内蔵している。このため、全チャンネルで同時にデータをサンプリングすることが可能となっている。表-1.2に動ひずみ計測器の仕様を示す。なお、計測システムの制御およびデータの収集はパーソナル・コンピュータを用いて行った。

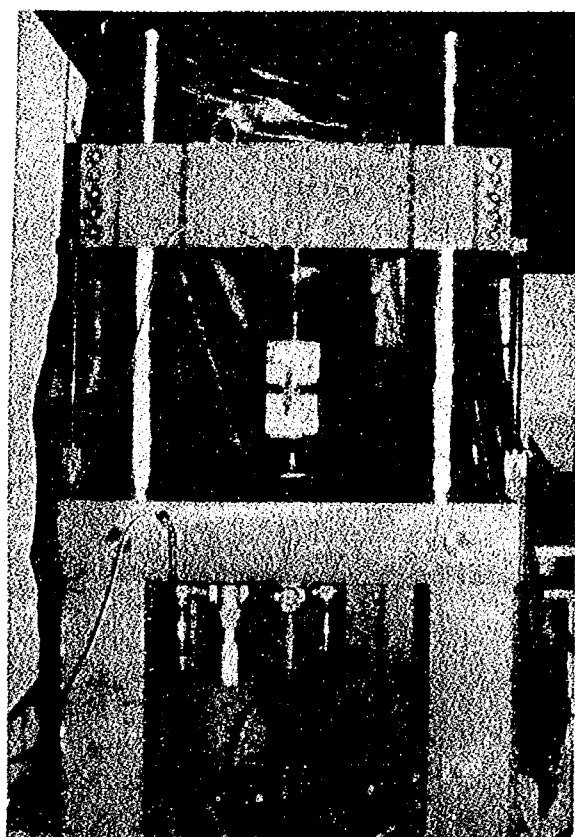


写真-1.1 試験装置の外観

表-1.1 動的引張強度試験装置の諸元

項 目	機 能
最 大 荷 重	±40tf (载荷盤直径20cm)
最 大 変 位	±10mm
加 振 波 形	正弦波・三角波・矩形波 (0.01~25Hz)
最 大 速 度	4 cm/sec
制 御 方 針	電気式油圧サーボ方式 (変位および荷重制御可)
荷 重 計	±40tfおよび±10tf (ひずみ式)
変 位 計	±12.5mm (差動トランス式)
荷 重 変 換 部	±10v/40tf (モニター出力)
変 位 変 換 部	±10v/10mm (モニター出力)
載 荷 盤 の 構 造	剛結 (球座ではない)

表-1.2 動ひずみ計測器の仕様

項 目	機 能
構成チャンネル数	10チャンネル
変 換 部 機 能	A/DおよびD/A変換が可能 分解能 12bit データメモリ 16kワード/チャンネル
サンプリング速度	最少0.5msec, 最大100msec (1msec~100msecまで1msec単位で設定可能) 全チャンネル同時サンプリング

1.3 接着剤の性質

本試験においては、供試体とアタッチメントを接着する接着剤の特性が試験結果の良否を左右する重要な要素となる。接着剤に要求される特性としては、次のものがあげられる。

- ① 接着剤の接着強度がコンクリートの引張強度よりも高いこと。
- ② 必要な強度が得られるまでの硬化時間が短いこと。
- ③ 作業性がよく、気象条件の影響が少ないこと。
- ④ アタッチメントから容易に供試体が除去できること。

このうち、①の条件については、直接引張試験が成立するうえで不可欠なものであり、②、③及び④の条件は試験工程を大きく左右するものである。そこで、①の条件を満足し、②、③、④の条件の優れたものとして、エポキシ系の2液混合タイプの接着剤を選定した。この接着剤の特性を試験した

結果、一軸引張強度は約90kgf/cm²、弾性係数は約34,000kgf/cm²、ポアソン比は約0.42という結果が得られた。なお、この接着剤の硬化時間は気温に大きく左右され、気温が高いほど硬化時間が早くなる性質を有しているが、冬季の低温下においても24時間程度放置すれば強度的に問題がないことが確認された。なお、供試体とアタッチメントを乾燥炉に入れ、高温（180～200℃）を12時間以上与えれば、接着剤を容易にアタッチメントから除去でき、アタッチメントを繰り返し使用できることも確認された。

2. 試験目的及び試験条件

2.1 試験目的

ダム用コンクリートのうち、従来工法に用いられている有スランブコンクリートの直接引張強度と弾性係数の特性については、既に土木研究所資料第2914号「ダムコンクリートの直接引張強度についての実験的検討」でとりまとめているが、今回の試験ではRCD用コンクリートを対象として、直接引張試験を行った。その試験内容は次のとおりである。

- ① 圧縮強度、割裂強度と直接引張強度の関係
- ② 直接引張強度と弾性係数の関係
- ③ 荷重載荷速度が直接引張強度と弾性係数に与える影響

なお、結果のとりまとめにあたっては、既に行った有スランブコンクリートの試験結果も併記することとした。

2.2 RCD用コンクリートの配合及び使用材料

試験に用いたRCD用コンクリートの配合は、RCD工法により建設されたダムの配合を参考に表-2.1のように決定した。なお、骨材は茨城県笠間産の砂岩の碎石（表乾比重：2.67）、砕砂（表乾比重：2.10）を用いた。また、セメントは普通ポルトランドセメント（比重：3.21）、AE剤はボゾリスNo.8を使用した。

表-2.1 RCD用コンクリートの配合

G _{max} (mm)	V C 値 (秒)	W/C (%)	s / a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						A E 剤 (%)
				W	C	S	G			
							5 ~10mm	10~20mm	20~40mm	
40	20±10	75	42	119	159	891	326	326	612	0.25

2.3 供試体寸法及び供試体作製方法

1) 供試体寸法

本試験においては、供試体として、圧縮試験用の標準供試体（直径15cm×高さ30cm）を用いた。なお、今までの実験結果によれば、標準供試体をそのまま使用すると供試体端部で破断する例が多いことから、試験にあたっては、有スランブコンクリートの場合と同様に、供試体の両端部を約3cmずつ切断して用いるものとした。

2) 供試体作製方法に関する予備的検討

RCD用コンクリートの供試体は、一般にボッシュタンパーを人力で押しつけて、3層に分けて各層で表面にペーストが浮上してくるまで締固めている。そこで、RCD用コンクリートの供試体作製時における締固め層数、各層表面の処理方法を変化させ、これらが試験結果に及ぼす影響について予備的な検討を行った。供試体は、ダム構造研究室が開発した表-2.2に示す仕様のRCD用コンクリートの標準供試体作製装置を用い、ボッシュタンパーの押しつけ力を60kgfに設定して作製した。なお、締固め時間はペーストが浮上する状態を考慮して1層あたり30秒とした。また、各層表面の処理方法としては、表面を鋼棒で攪拌する場合と何もしない場合の2種類とした。表-2.3、図-2.1にその試験結果を示す。なお、表-2.3における供試体の破断位置の区分で、層境界の破壊とは図-2.2に示すように各層の境界の上下2cmの範囲に破断面が完全に含まれる場合をいい、それ以外の破断形態は一般部での破壊とした。

表-2.3、図-2.1より、締固め層数の違いによる直接引張強度の平均値を比べると、3層締固めでは10.4kgf/cm²、2層締固めでは9.6kgf/cm²、1層締固めでは6.6kgf/cm²と、締固め層数が少なくなるほど直接引張強度の平均値は低下し、十分な締固めが行われていないことを示している。一方、直接引張強度の平均値は、攪拌無しの方が小さい値がでており、強度のばらつきは攪拌無しの方が小さくなっている。以上の予備試験結果より、供試体を作製する方法として、3層締固めで打継目面の攪拌無しの方法を採用することとした。

3) 供試体作製方法

供試体の作製方法の手順を以下に示す。

- ① 表-2.1で示した配合を用いて、コンクリートをミキサーで2分間練混ぜ、排出後、練り板上で切り返し(4回)を行う。
- ② VC試験機でVC値を測定する。
- ③ 標準供試体のモールド内に、締固め後の高さがモールド内高の約3分の1になるように、ハンドスコップを用いてコンクリートを投入し、突き棒で25回突き固める。
- ④ RCD用コンクリートの標準供試体作製装置を用いて、エアースリンダーの空気圧を3.0kgf/cm²(押しつけ力60kgf)に設定し、30秒間{VC値(15秒)の2倍}の締固めを行う。
- ⑤ 第2層、第3層を同様に締固める。
- ⑥ 24時間後に供試体の上部端面をキャッピングする。
- ⑦ 供試体を水中養生状態とする。

上記のようにして作製した供試体は、材令が約150日の時点でその両端面約3cmをコンクリート用カッターで切断し、直接引張試験日の7日前に供試体を水中から引き上げて室内自然乾燥状態を与えた。

表-2.2 標準供試体作製装置の仕様

項 目	仕 様 及 び 機 能
エアーコンプレッサー	タンク容量：30リットル 最大発生圧力：9.9kgf/cm ²
調圧タンク	タンク容量：10リットル 調整圧力：最大10kgf/cm ² 圧力指示計：容量10kgf/cm ² 最小目盛り0.2kgf/cm ²
振動タンパー	回転数：3000rpm(AC200V, 50Hz) 片振幅：0.52mm 起振力：140kgf(AC200V, 50Hz)
タンパー自重	27kgf(ヘッドカバーを含む)
最大載荷力	約190kgf(タンパーの自重を除く)
加圧板直径	14cm
対象供試体	直径15cm×高さ30cm

表-2.3 供試体の作製方法と直接引張強度（予備試験）

ケース 番 号	締 固 め 投入層数	供試体番号	VC値 (秒)	各層表面 の 処 理	1層あたりの 締固め時間(秒)	総締固め 時間(秒)	破断位置 の 区 分	直接引張強度 (kgf/cm ²)	直接引張強度の 平 均 値(kgf/cm ²)		
5	3	8-1-1	15秒	有	30	90	一 般 部	7.1	13.2	10.4	
		8-1-2		有	"	90	一 般 部	20.0			
		8-1-3		有	"	90	一 般 部	12.4			
4		8-2-1		無	"	90	一 般 部	7.2	7.7		
		8-2-2		無	"	90	一 般 部	4.0			
		8-2-3		無	"	90	層境界	12.0			
3	2	8-3-1		有	"	60	一 般 部	3.7	11.9		9.6
		8-3-2		有	"	60	層境界	19.8			
		8-3-3		有	"	60	層境界	12.1			
2		8-4-1		無	"	60	一 般 部	7.9	7.4		
		8-4-2		無	"	60	一 般 部	5.9			
		8-4-3		無	"	60	一 般 部	8.4			
1	1	8-5-1		—	"	30	—	4.4	6.6	6.6	
		8-5-2		—	"	30	—	4.3			
		8-5-3		—	"	30	—	11.0			

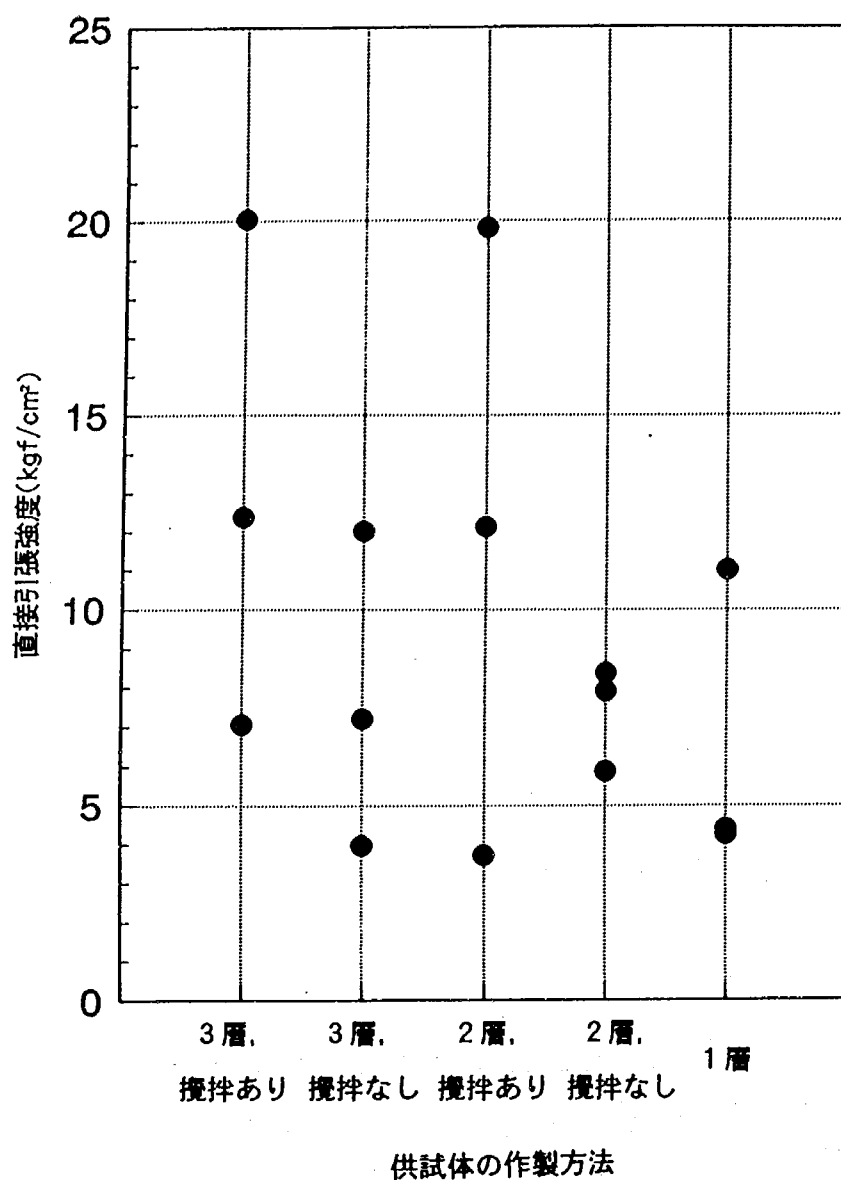


図-2.1 供試体の作製方法と直接引張強度の関係

2.4 試験条件

1) 載荷速度

RCD用コンクリートの供試体に対して、載荷速度を次の5速度に設定し、直接引張強度試験を行った。

- ① $0.067 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$: JISに規定されている割裂試験の載荷速度から換算して求めた載荷速度
- ② $2.0 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$: JISに規定されている圧縮強度試験の載荷速度
- ③ $20 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$: ②の10倍の載荷速度
- ④ $200 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$: ②の100倍の載荷速度
- ⑤ $600 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$: ②の300倍の載荷速度 (装置の制御精度から判断した載荷能力の最大値)

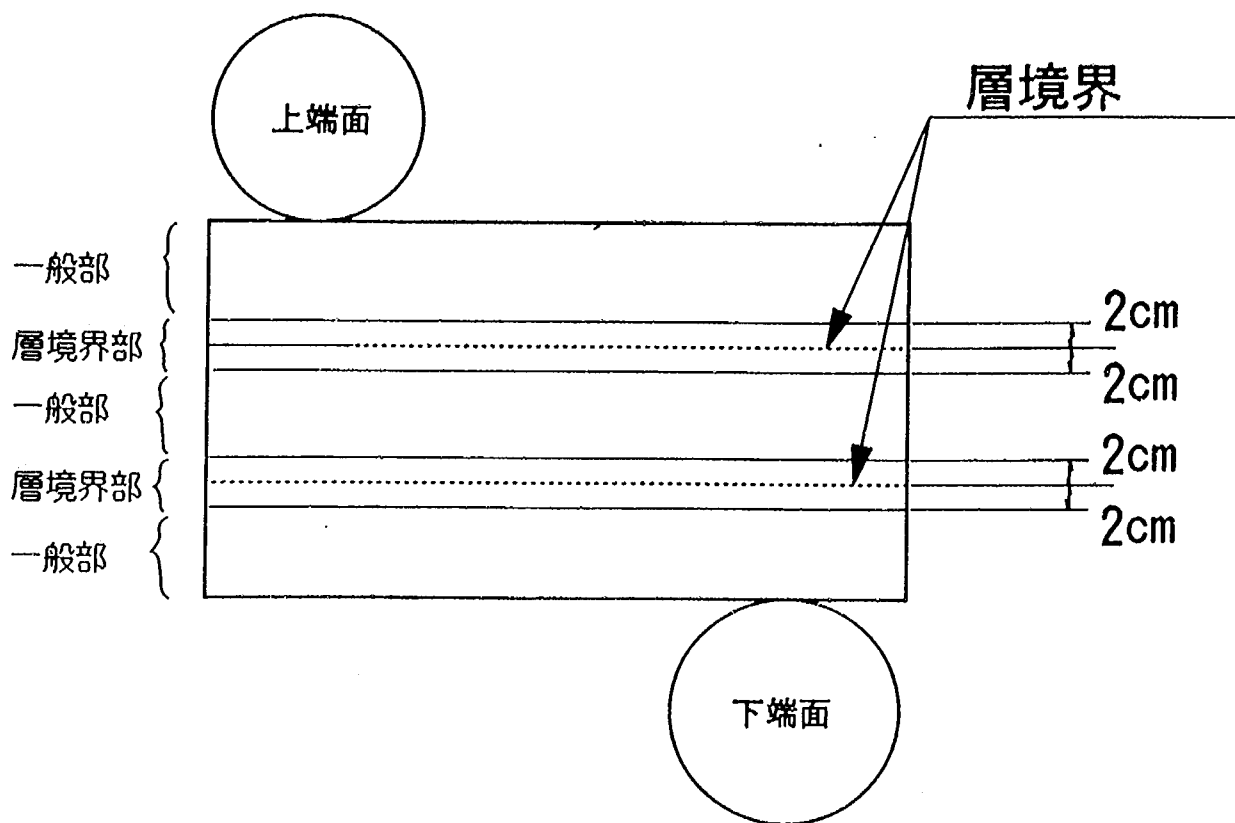


図-2.2 供試体の層境界

2) 供試体本数

① 直接引張試験用供試体

試験精度を確保するために、1種類の载荷速度条件に対して12本の供試体を作製して試験を行った。したがって直接引張試験用として $(5 \text{ 载荷速度}) \times (12 \text{ 本/载荷速度}) = 60 \text{ 本}$ の供試体を作製した。

② 一軸圧縮試験用、割裂試験用供試体

本試験の基準強度およびバッチ間の強度のばらつきの有無を検討するため、各バッチ毎に各々2本ずつの供試体を作製した。

3) 試験材令

本試験施設では、载荷用アタッチメントの保有数量の制約から1日に4～5本程度の試験しかできない。したがって、全供試体の試験が終了するまでには約15日の日数を要することになる。そこで、材令が供試体強度に与える影響を極力少なくするため、概ね160日～180日の長期材令（有スランプ試験時のデータから、材令160日～180日の間では材令が強度増加に与える影響がほとんど無いことが確認されている）で直接引張強度試験を実施した。なお、一軸圧縮強度試験と割裂強度試験は材令180日で実施した。

3. 試験結果

本章では、今回実施したRCD用コンクリートの直接引張強度試験の結果に、既に実施した有スランブコンクリートの直接引張試験結果を併記して述べる。

3.1 圧縮強度、割裂強度、直接引張強度

表-3.1 (a) に一軸圧縮強度試験用供試体の密度、表-3.1 (b) に割裂強度試験用供試体の密度、表-3.1 (c) に直接引張強度試験用供試体の密度をそれぞれ示す。供試体の密度のばらつきは小さく、全供試体とも同程度に締固められているといえる。

次に、表-3.2に直接引張強度、一軸圧縮強度、割裂強度の試験結果を示す。なお、表中の() は、各層の境界部(打継目の上、下2cmの範囲に全破断面が含まれる場合)で破断が生じたものを示している。

図-3.1 (a) に一軸圧縮強度の頻度分布を示す。一軸圧縮強度の平均値は 244 kgf/cm^2 で、標準偏差が 10 kgf/cm^2 (変動係数が0.041) と強度のばらつきが少ない。また、表から各バッチ毎の平均強度は $231\text{ kgf/cm}^2 \sim 255\text{ kgf/cm}^2$ の範囲にあり、バッチ間に有意な強度差があるとはいえない。

次に、図-3.1 (b) に割裂強度の頻度分布を示す。割裂強度の平均値は 29.2 kgf/cm^2 、標準偏差が 3.1 kgf/cm^2 (変動係数が0.107) と一軸圧縮強度に比べて強度のばらつきは若干大きめに現れている。しかし、バッチ間には有意な差は生じていない。

次に、図-3.1 (c) に載荷速度別に直接引張強度の頻度分布を示す。直接引張強度の平均値は載荷速度の上昇とともに大きくなっている。また標準偏差と変動係数の値は $2.8\text{ kgf/cm}^2 \sim 5.5\text{ kgf/cm}^2$ 、 $0.190 \sim 0.329$ で、一軸圧縮強度、割裂強度の試験値と比べると、ややばらつきが大きく現れている。

次に、図-3.2に直接引張強度試験における供試体の破断位置の頻度分布を示す。図より、供試体の高さの上半分から破断した供試体が多いことがわかる。しかし、図-3.3の破断位置と直接引張強度の関係からは、両者に明確な相関性は認められず、破断位置が強度に与える影響はないものと考えられる。また、図-3.4に図-2.2に示した一般部、層境界部別の直接引張強度の頻度分布を示す。図からも両者の強度に有意な差が認められず、3層締固めによる層境界が引張強度に及ぼす影響はないものと考えられる。

次に、図-3.5に今回試験を実施したRCD用コンクリートの配合(以下、RCD配合という)と前回試験を実施した有スランブコンクリートのうち重力式コンクリートダムの配合(以下、G配合という)およびアーチ式コンクリートダムの配合(以下、A配合という)に対して求めた一軸圧縮強度と割裂強度の関係を重ねて示す。なお、A配合、G配合の配合表は表-3.3に示すとおりである。図-3.5によれば、RCD配合の割裂強度は一軸圧縮強度の約 $1/9 \sim 1/7$ の大きさとなっており、A配合の場合に比べて大きく、またG配合の場合とはほぼ同じかやや大きい値となっている。

次に、図-3.6に一軸圧縮強度と直接引張強度(載荷速度: $2.0\text{ kgf/cm}^2/\text{cec}$)の関係を示す。この場合もRCD配合、G配合、A配合の結果を重ねて示している。RCD配合の直接引張強度は、一軸圧縮

表-3.1 (a) 一軸圧縮強度試験用供試体の密度

試験項目	一軸圧縮強度試験	
	供試体密度	
バッチ	(g/cm ³)	
1	2.435	2.434
2	2.424	2.435
3	2.430	2.438
4	2.441	2.425
5	2.452	2.442
6	2.433	2.447
全体平均値	2.436	
標準偏差	0.0079	

表-3.1 (b) 割裂強度試験用供試体の密度

試験項目	一軸圧縮強度試験	
	供試体密度	
バッチ	(g/cm ³)	
1	2.419	2.425
2	2.438	2.429
3	2.432	2.433
4	2.431	2.431
5	2.433	2.443
6	2.426	2.419
全体平均値	2.430	
標準偏差	0.0068	

表-3.1 (c) 直接引張強度試験用供試体の密度

試験項目	直接引張強度試験					
	供試体密度					
バッチ	(g/cm ³)					
1	2.428	2.428	2.438	2.425	2.431	
	2.447	2.439	2.445	2.437	2.451	
2	2.451	2.441	2.436	2.434	2.431	
	2.455	2.442	2.467	2.452	2.450	
3	2.456	2.464	2.460	2.448	2.460	
	2.452	2.468	2.452	2.456	2.453	
4	2.437	2.433	2.435	2.445	2.451	
	2.444	2.438	2.413	2.439	2.447	
5	2.442	2.440	2.460	2.458	2.467	
	2.447	2.448	2.443	2.455	2.449	
6	2.452	2.448	2.438	2.449	2.452	
	2.448	2.461	2.406	2.438	2.456	
全体平均値	2.446					
標準偏差	0.0121					

表-3.2 直接引張試験，一軸圧縮試験，割裂試験の結果

試験項目	直接引張強度 (kgf/cm ²)					一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)
載荷速度(kgf/cm ² /sec)	0.067	2.0	20.0	200.0	600.0		
バッチ 1	8.5	8.9	10.6	9.0	15.7	229	28.2
	12.0	9.4	11.4	18.0	15.5	232	35.9
平均	10.2	9.1	11.0	13.5	15.6	231	32.1
バッチ 2	10.3	7.2	(12.7)	22.2	(24.4)	259	30.2
	9.9	14.3	(11.1)	16.4	14.3	234	31.8
平均	10.1	10.7	11.9	19.3	19.3	247	31.0
バッチ 3	(8.7)	(9.3)	14.0	(17.0)	20.0	239	28.2
	(6.2)	15.0	16.5	25.6	15.9	236	30.3
平均	7.4	12.2	15.3	21.3	17.9	238	29.2
バッチ 4	11.5	10.4	(19.5)	18.3	(16.7)	241	31.0
	15.5	13.1	7.6	9.6	22.7	255	24.7
平均	13.5	11.7	13.5	14.0	19.7	248	27.8
バッチ 5	15.3	10.7	14.1	20.6	16.1	251	30.0
	7.6	8.2	9.5	(16.8)	24.7	258	27.0
平均	11.4	9.4	11.8	18.7	20.4	255	28.5
バッチ 6	11.7	20.3	8.8	9.4	(22.1)	244	29.6
	(7.6)	7.4	6.6	(25.4)	19.5	242	23.6
平均	9.7	13.9	7.7	17.4	20.8	243	26.6
平均値	10.4	11.2	11.9	17.4	19.0	244	29.2
標準偏差	2.8	3.7	3.6	5.5	3.6	10	3.1
変動係数	0.272	0.329	0.301	0.316	0.190	0.041	0.107

注：（ ）は層境界部で破断を生じたもの

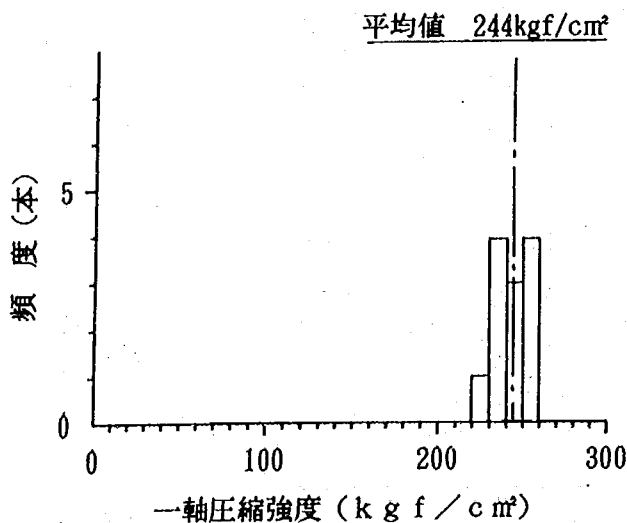


図-3.1 (a) 一軸圧縮強度の頻度分布

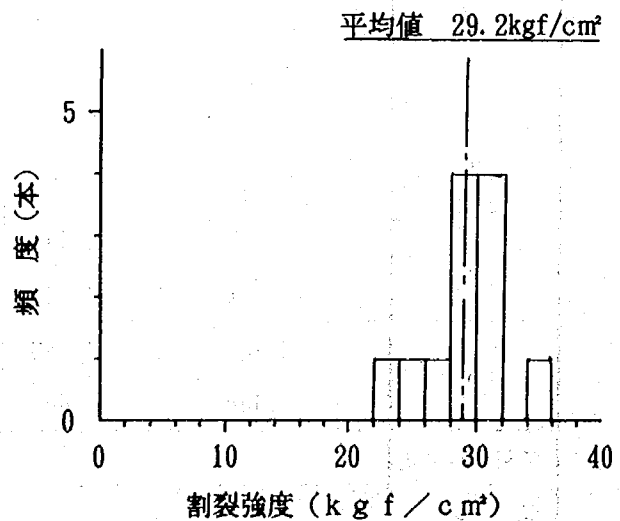
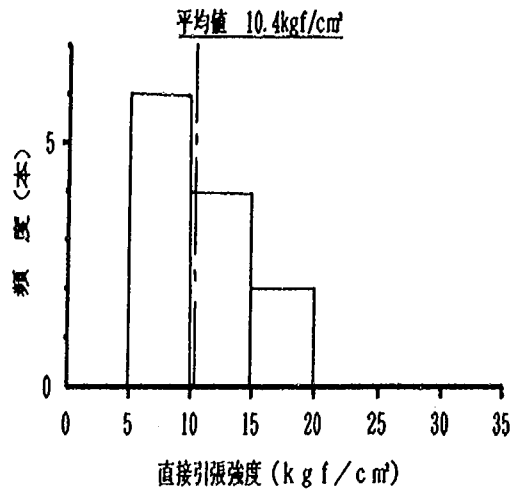
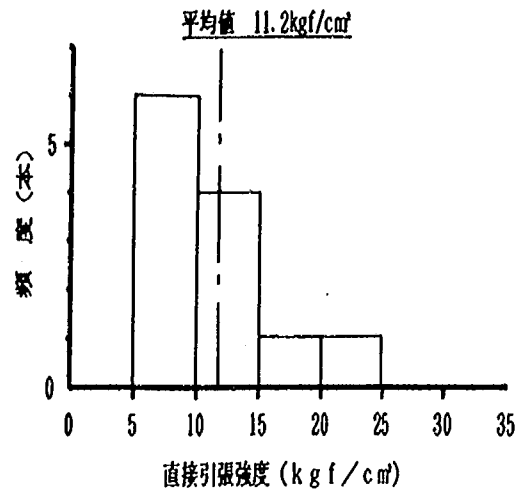


図-3.1 (b) 割裂強度の頻度分布

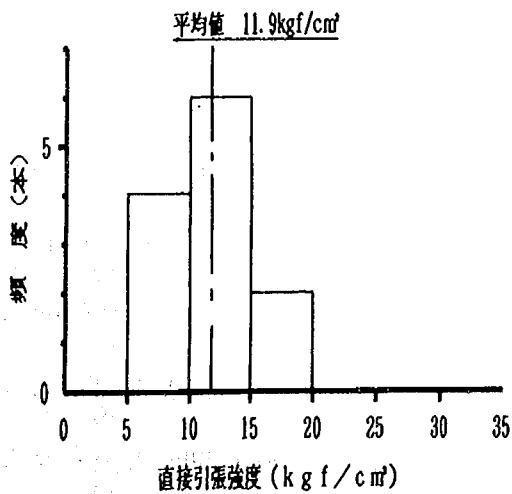
荷重載荷速度0.067kgf/cm²/sec



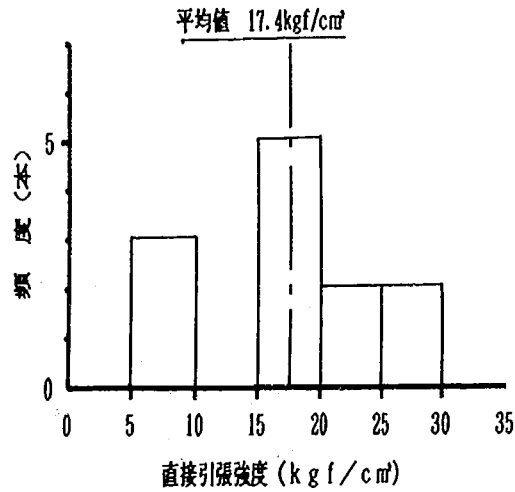
荷重載荷速度2.0kgf/cm²/sec



荷重載荷速度20kgf/cm²/sec



荷重載荷速度200kgf/cm²/sec



荷重載荷速度600kgf/cm²/sec

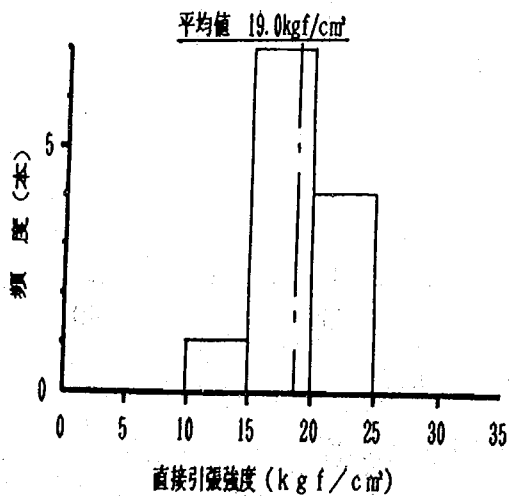


図-3.1 (c) 載荷速度別直接引張強度の頻度分布

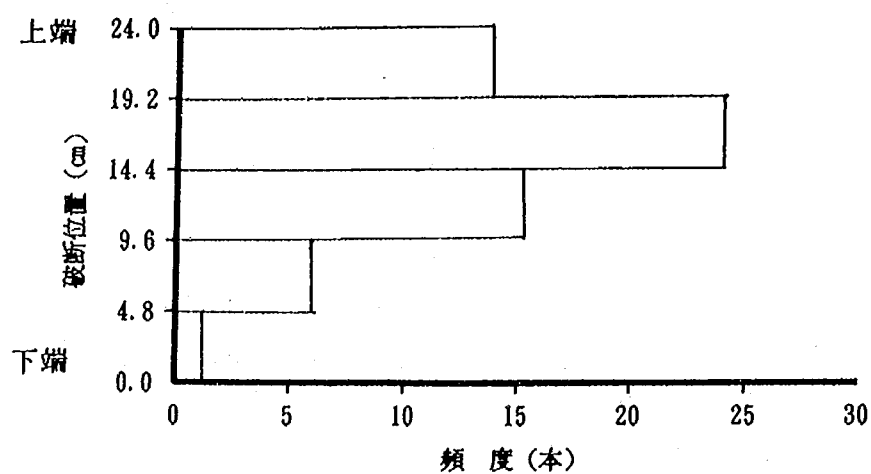


図-3.2 破断位置の頻度分布

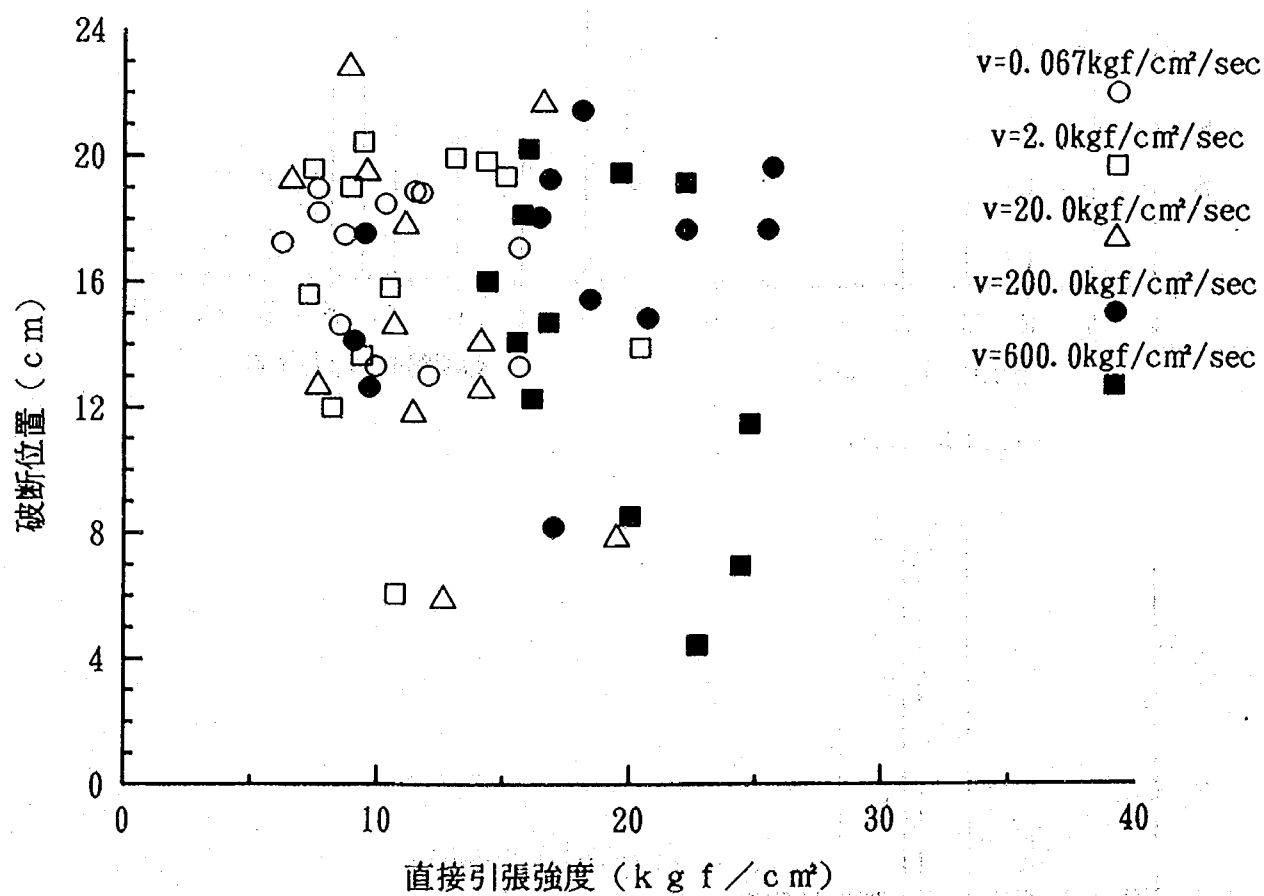


図-3.3 破断位置と直接引張強度

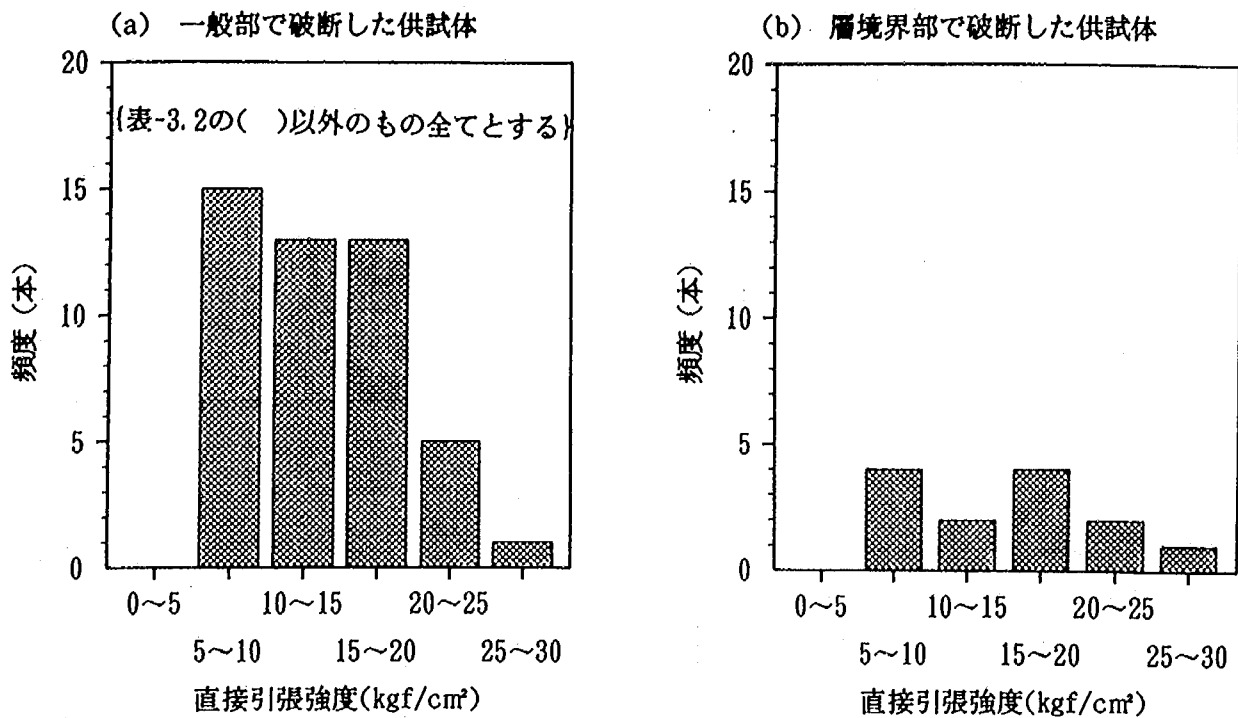


図-3.4 直接引張強度の頻度

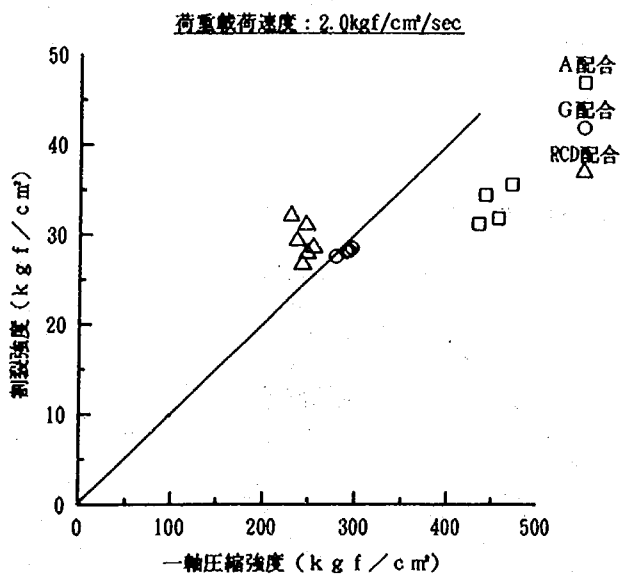


図-3.5 一軸圧縮強度と割裂強度の関係

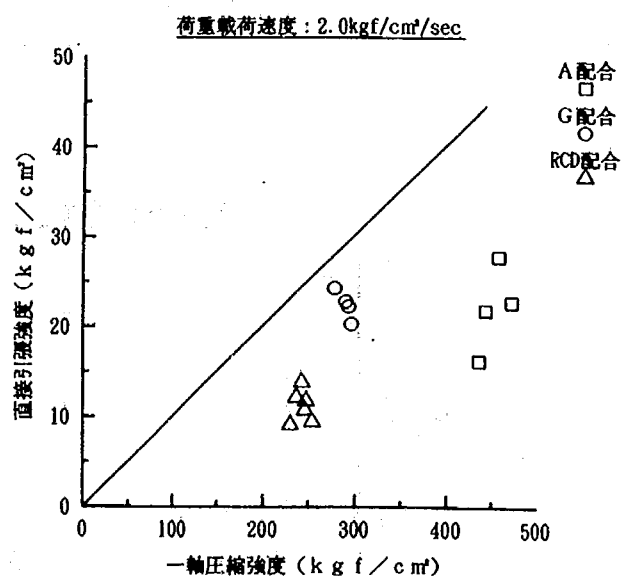


図-3.6 一軸圧縮強度と直接引張強度の関係

強度の約 $1/27 \sim 1/18$ となっており、G配合の場合に比べて小さく、またA配合の場合と同様な比率になっている。

また、図-3.7に割裂強度と直接引張強度（載荷速度：2.0kgf/cm²/sec）の関係を示す。この場合もRCD配合、G配合、A配合の結果を重ねて示している。RCD配合の直接引張強度と割裂強度が等しければ、図中の45°の傾きを持つ直線上にプロットされるが、今回の試験結果では、RCD配合の直接引張強度は割裂強度の約35%の大きさとなっており、G配合、A配合に比べてかなり小さな値となっている。

表-3.3 直接引張試験の配合

配 合	Gmax (mm)	スランブ (cm)	空 気 量 (%)	W/C (%)	s / a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					A E 剤 (%)
						W	C	S	G		
									5 ～20mm	20～40mm	
A配合	40	4.0±1	4.0±1	45	37	156	347	675	738	433	0.045
G配合	40	4.0±1	4.0±1	60	40	157	262	760	719	315	0.025

表-3.3 直接引張試験の配合

配 合	Gmax (mm)	W/C (%)	s / a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					A E (%)	スランブ (cm)	空 気 量 (%)
				W	C	S	G				
							5 ~20mm	20~40mm			
A配合	40	45	37	156	347	675	738	433	0.045	4.0±1	4.0±1
G配合	40	60	40	157	262	760	719	315	0.025	4.0±1	4.0±1

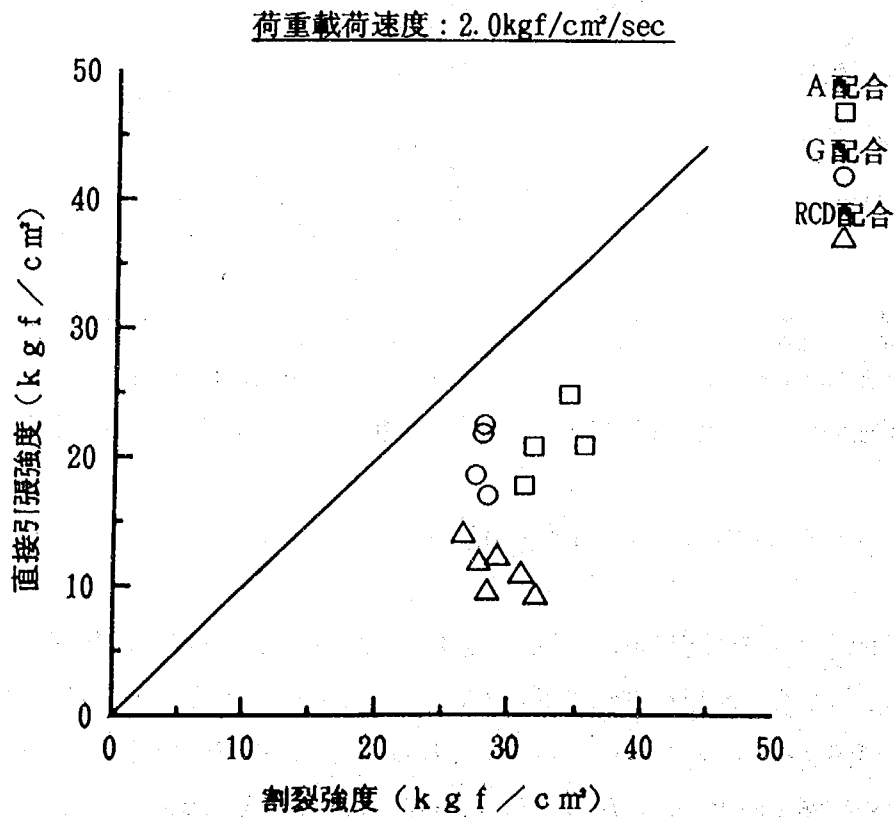


図-3.7 直接引張強度と割裂強度の関係

以上に示した試験結果については、特に直接引張強度の試験結果にばらつきが大きいためこれを断定することは難しいが、RCD用コンクリートでは十分な締固めが行えないと内部に弱点が生じやすく、このような弱点の存在がRCD用コンクリートの直接引張強度を他のコンクリートの直接引張強度よりも小さくさせた原因になっているものと考えられる。

3.2 直接引張強度と弾性係数

今回の RCD 配合の直接引張試験時には、ゲージ長が120mmのひずみゲージを供試体円周上の軸方向に4枚貼りつけて、引張強度の測定とあわせて発生ひずみを計測した。

図-3.8にRCD配合の供試体から計測した直接引張試験時の応力～ひずみ関係の一例を示す。計測された応力～ひずみ関係は、わずかに非線形性を示すことがわかる。

表-3.4に直接引張強度試験（荷重載荷速度：2.0kgf/cm²/sec）と一軸圧縮強度試験のデータから求めた破壊荷重の25%の応力レベルにおける割線弾性係数の値を示す。また、図-3.9に一軸圧縮強度試験時の割線弾性係数と直接引張強度試験時（荷重載荷速度：2.0kgf/cm²/sec）の割線弾性係数の関係を示す。図には、RCD配合の試験結果のほかG配合、A配合の試験結果も重ねて示してある。なお、直接引張強度試験時の割線弾性係数と一軸圧縮強度試験時の割線弾性係数を破壊強度の25%の応力レベルで求めると、それぞれのひずみレベルが、直接引張強度試験では約10μ～20μ、一軸圧縮強度試験では約200μ～300μと両者のひずみレベルに大きな差が生じる。そこで、ここでは両者のひずみレベルを50μ～100μにそろえて、その時の応力とひずみの関係から割線弾性係数（以下、修正弾性係数という）を求めている。図によると、RCD配合ではA配合、G配合に比べ圧縮時の修正弾性係数

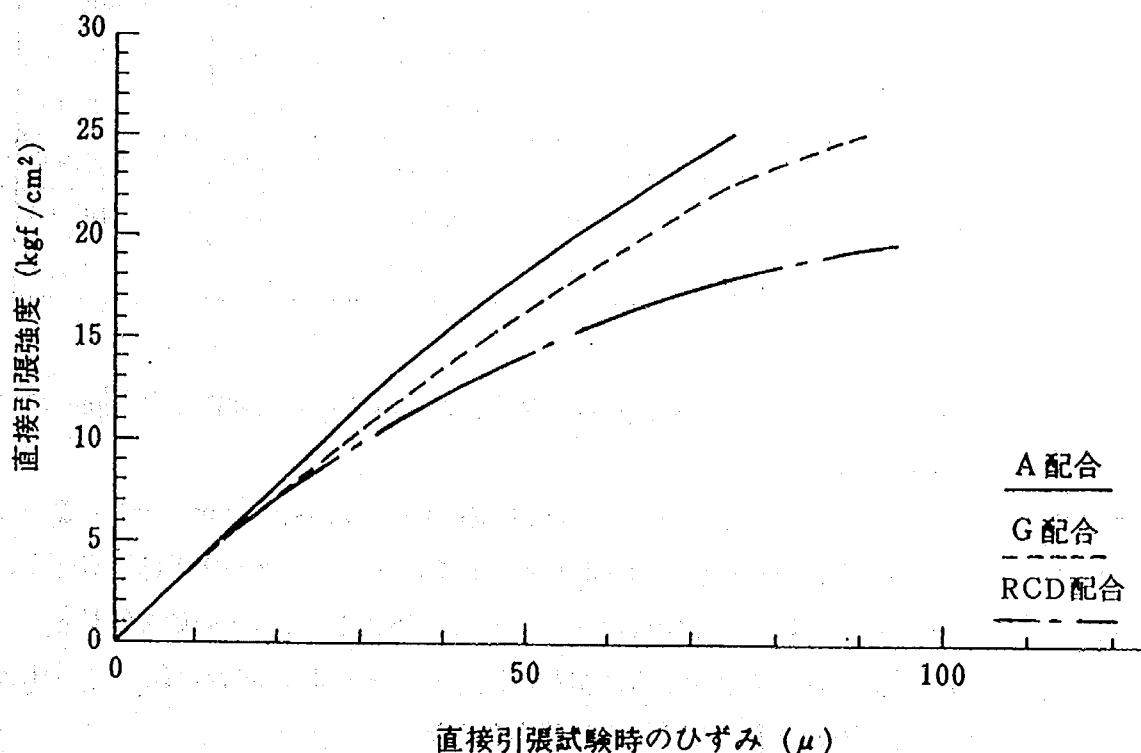


図-3.8 直接引張試験時の応力～ひずみ曲線

表-3.4 直接引張試験時、一軸圧縮試験時の修正弾性係数

試験項目	直接引張試験時弾性係数(kgf/cm ²)					一軸圧縮試験 時弾性係数 (kgf/cm ²)
	載荷速度(kgf/cm ² /sec)					
	0.067	2	20	200	600	
バッチ						
バッチ 1	87,000	343,000	327,000	213,000	345,000	
	324,000	316,000	320,000	373,000	321,000	430,000
平均	206,000	329,000	323,000	293,000	333,000	430,000
バッチ 2	317,000	208,000	344,000	373,000	376,000	313,000
	249,000	359,000	338,000	386,000	376,000	344,000
平均	283,000	283,000	341,000	380,000	376,000	329,000
バッチ 3	373,000	242,000	339,000	382,000	376,000	310,000
	322,000	364,000	355,000	387,000	397,000	425,000
平均	347,000	303,000	347,000	384,000	387,000	368,000
バッチ 4	312,000	380,000	357,000	437,000	331,000	397,000
	413,000	358,000	256,000	237,000	394,000	400,000
平均	363,000	369,000	307,000	337,000	362,000	399,000
バッチ 5	334,000	394,000	377,000	359,000	390,000	394,000
	280,000	225,000	396,000	391,000	406,000	441,000
平均	307,000	309,000	387,000	375,000	398,000	418,000
バッチ 6	372,000	369,000	371,000	467,000	377,000	397,000
	609,000	420,000	422,000	369,000	381,000	428,000
平均	491,000	394,000	396,000	418,000	379,000	413,000
平均 値	333,000	331,000	350,000	365,000	372,000	389,000
標準偏差	114,000	66,000	40,000	69,000	26,000	116,000
変動係数	0.344	0.200	0.114	0.189	0.069	0.297

がやや大きくなる傾向が見られるが、一軸圧縮試験時と直接引張試験時の修正弾性係数の間には全体的に有意な差はないことがわかる。

次に、一軸圧縮強度と修正弾性係数、直接引張強度（荷重載荷速度：2.0 kgf/cm²/sec）と修正弾性係数の関係について整理した結果を図-3.10と図-3.11にそれぞれ示す。各々の図には、G配合、A配合の結果も重ねて示してある。それぞれの配合はどれも笠間産の砂岩の碎石・砕砂を骨材として用いているが、試験実施時期が異なるため必ずしも厳密な比較はできないが、配合の差による圧縮強度、引張強度の変化に対して、弾性係数の変化は比較的小さくなっている。

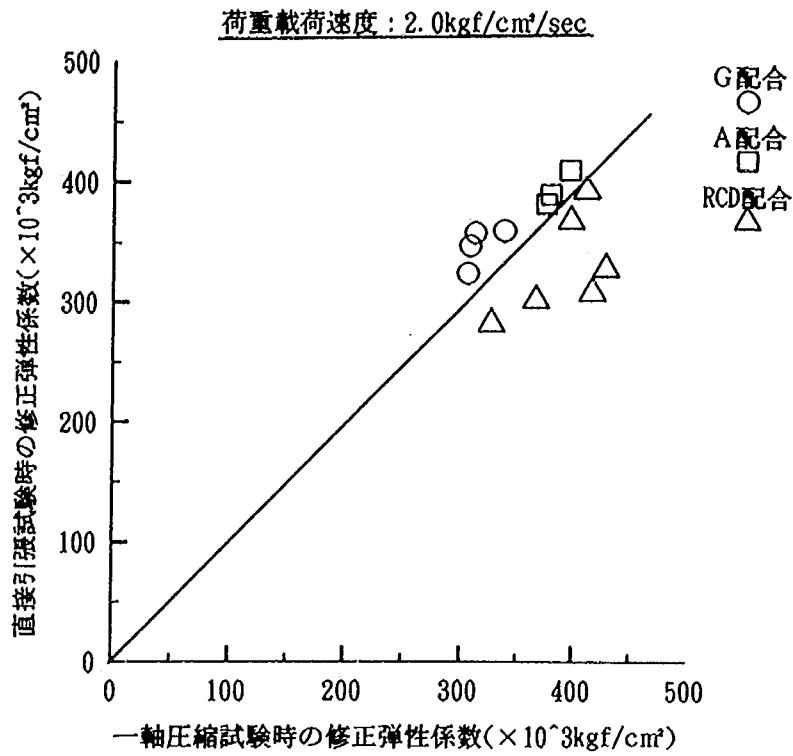


図-3.9 一軸圧縮試験時の修正弾性係数と直接引張り試験時の修正弾性係数の関係

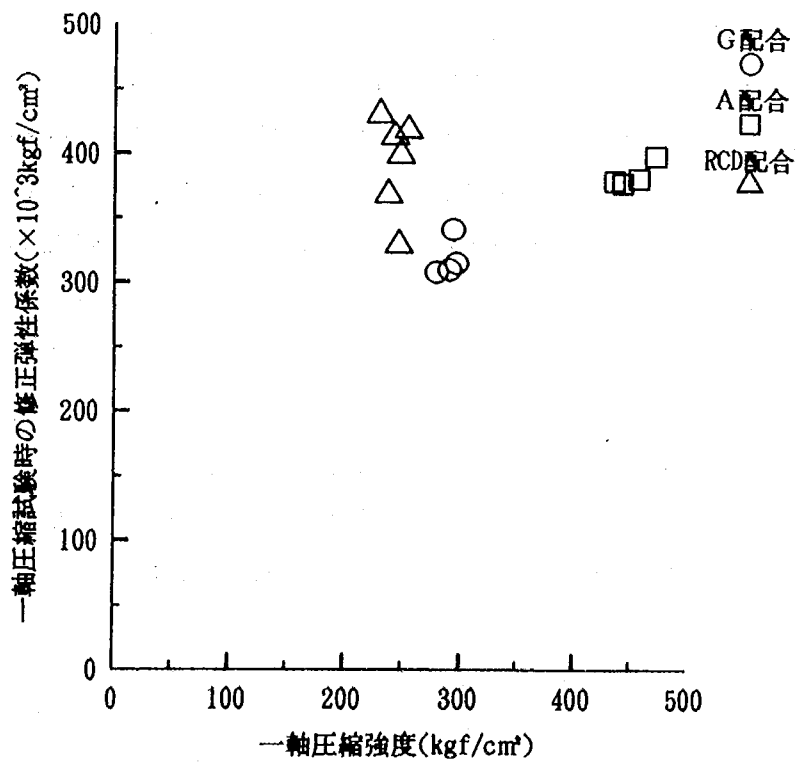


図-3.10 一軸圧縮試験時の圧縮強度と修正弾性係数の関係

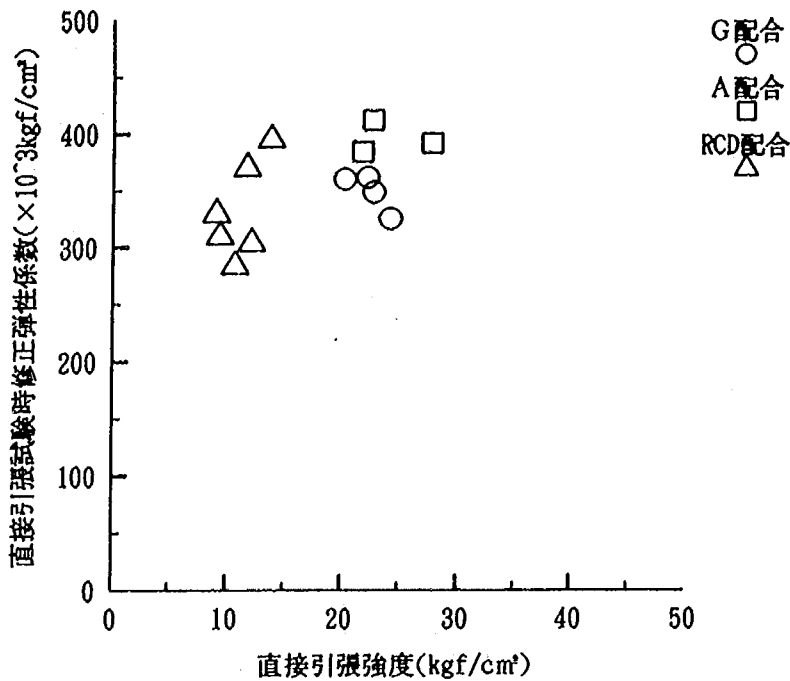


図-3.11 直接引張試験時の直接引張強度と修正弾性係数の関係

3.3 載荷速度が直接引張強度と弾性係数に及ぼす影響

次に、載荷速度が直接引張強度に与える影響を求めるため、載荷速度を $0.067 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec} \sim 600 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$ の範囲で5段階に設定して引張試験を実施した。その結果を図-3.12に示す。図から、載荷速度が増加すると、直接引張強度が増加する傾向が現れている。さらに、載荷速度が $0.067 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$ の平均引張強度を基準として、各載荷速度における直接引張強度の比率を求めて整理した結果を図-3.13に示す。図には、RCD配合の他にG配合、A配合の試験結果も併せて示してある。図から載荷速度の増加に伴う平均的な直接引張強度の増加率を読み取ると、 $0.067 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$ の時の引張強度に対して、 $2.0 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$ では約10%、 $20 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$ では約20%、 $200 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$ では約50%、 $600 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$ では約60%の増加となっている。この傾向は、他の配合でも同様に現れている。

次に、図-3.14に載荷速度が $0.067 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$ 時の修正弾性係数を基準として、各載荷速度における修正弾性係数の比率を示す。なお、図にはRCD配合のほか、G配合、A配合の結果も併せて示している。図から、直接引張強度の場合と異なり、修正弾性係数は載荷速度によらずほぼ一定の値を示すことがわかる。

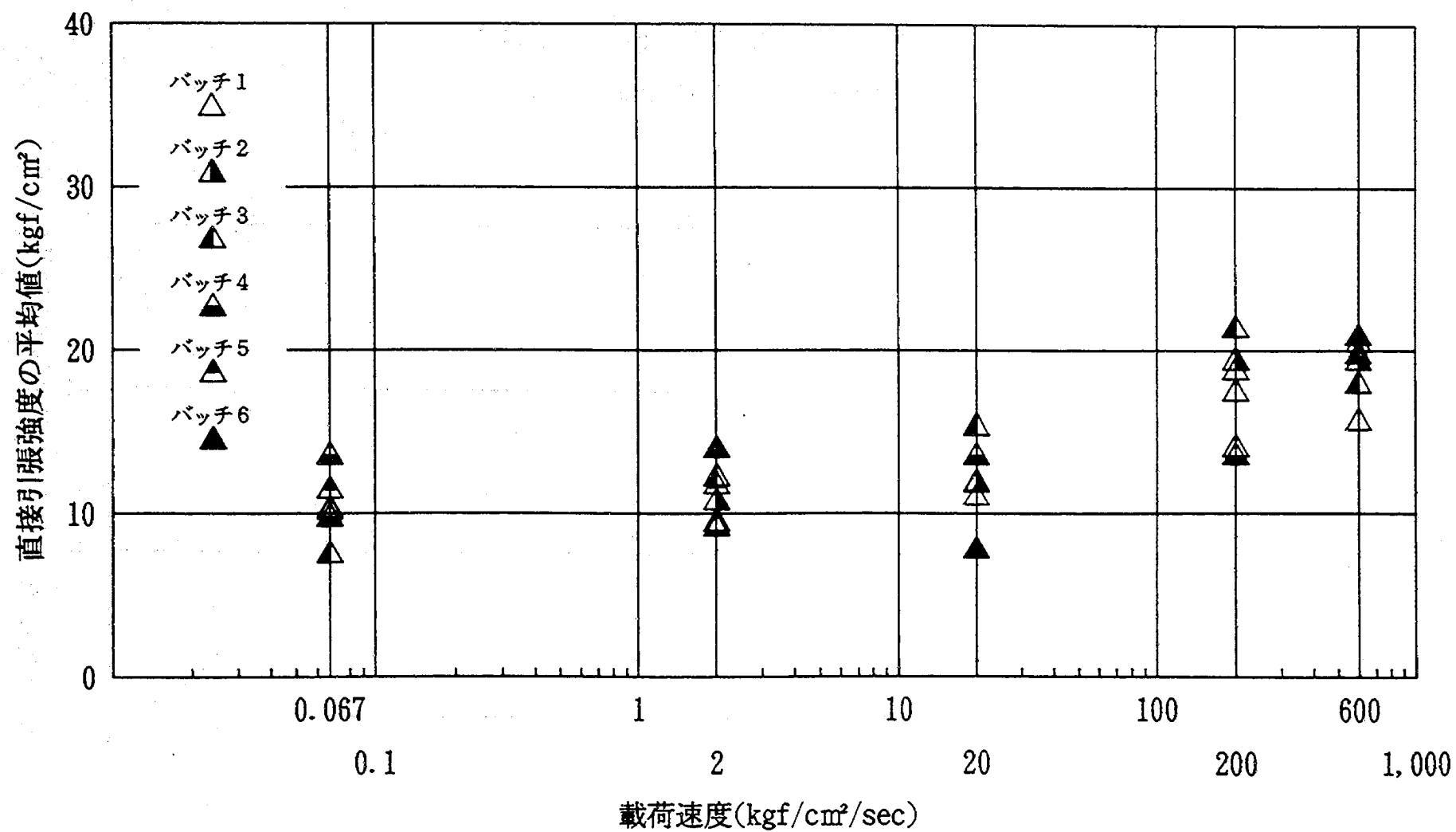


図-3.12 (a) 載荷速度と直接引張強度 (RCD配合)

図-3.12 (b) 載荷速度と直接引張強度 (G配合)

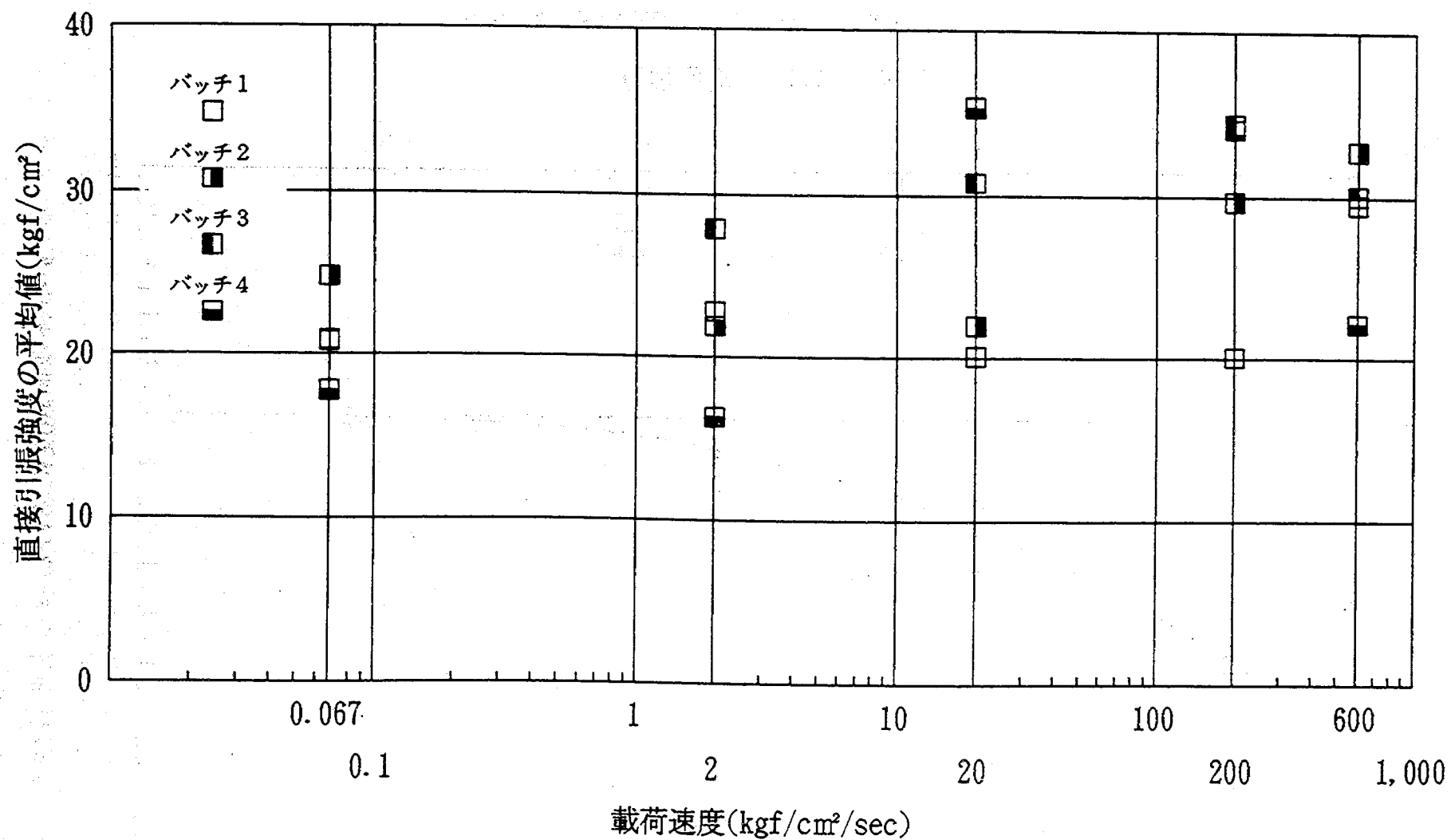


図-3.12 (c) 載荷速度と直接引張強度 (A配合)

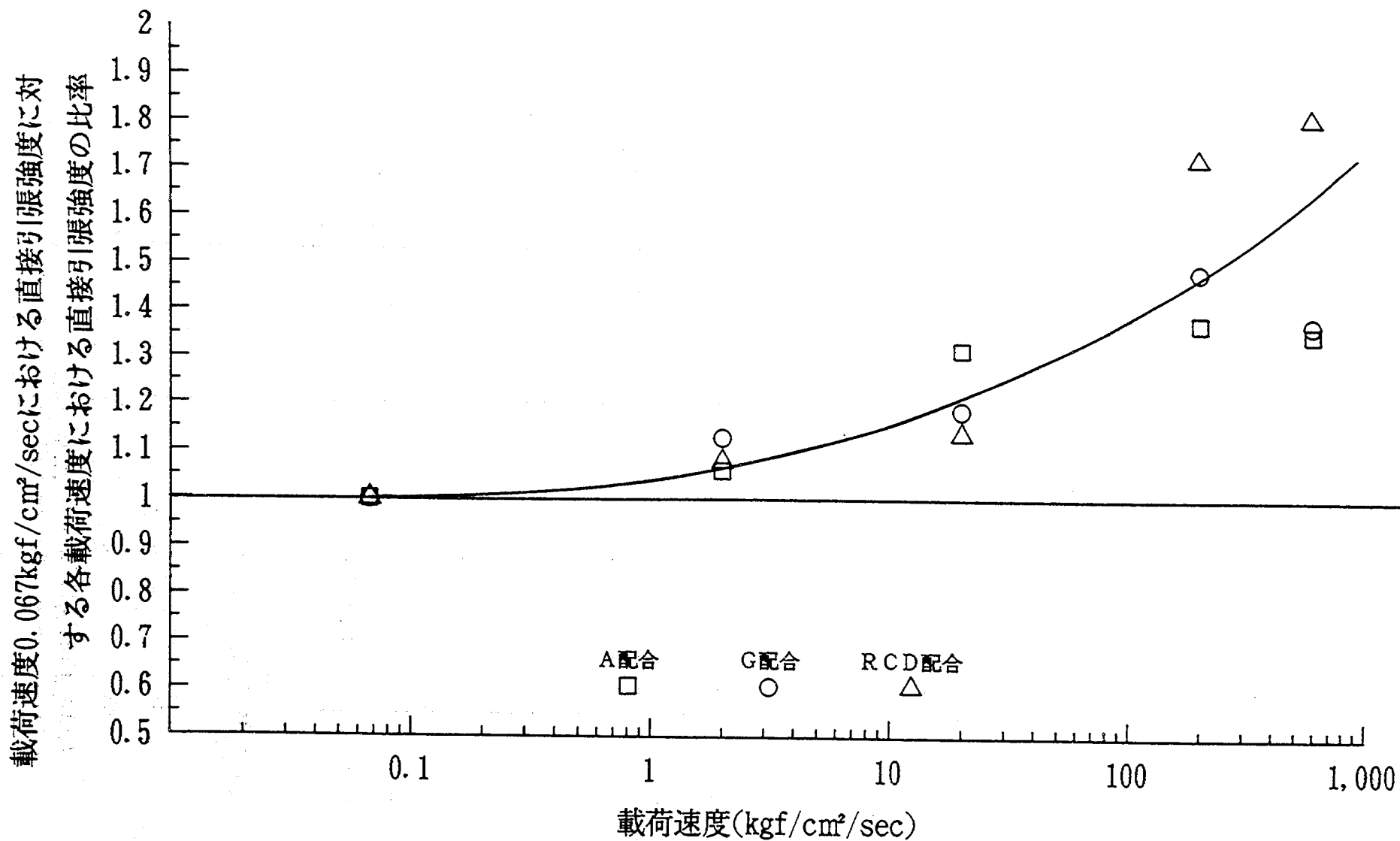


図-3.13 載荷速度が直接引張強度に与える影響

載荷速度0.067kgf/cm²/secにおける修正弾性係数に対する各載荷速度における修正弾性係数の比率

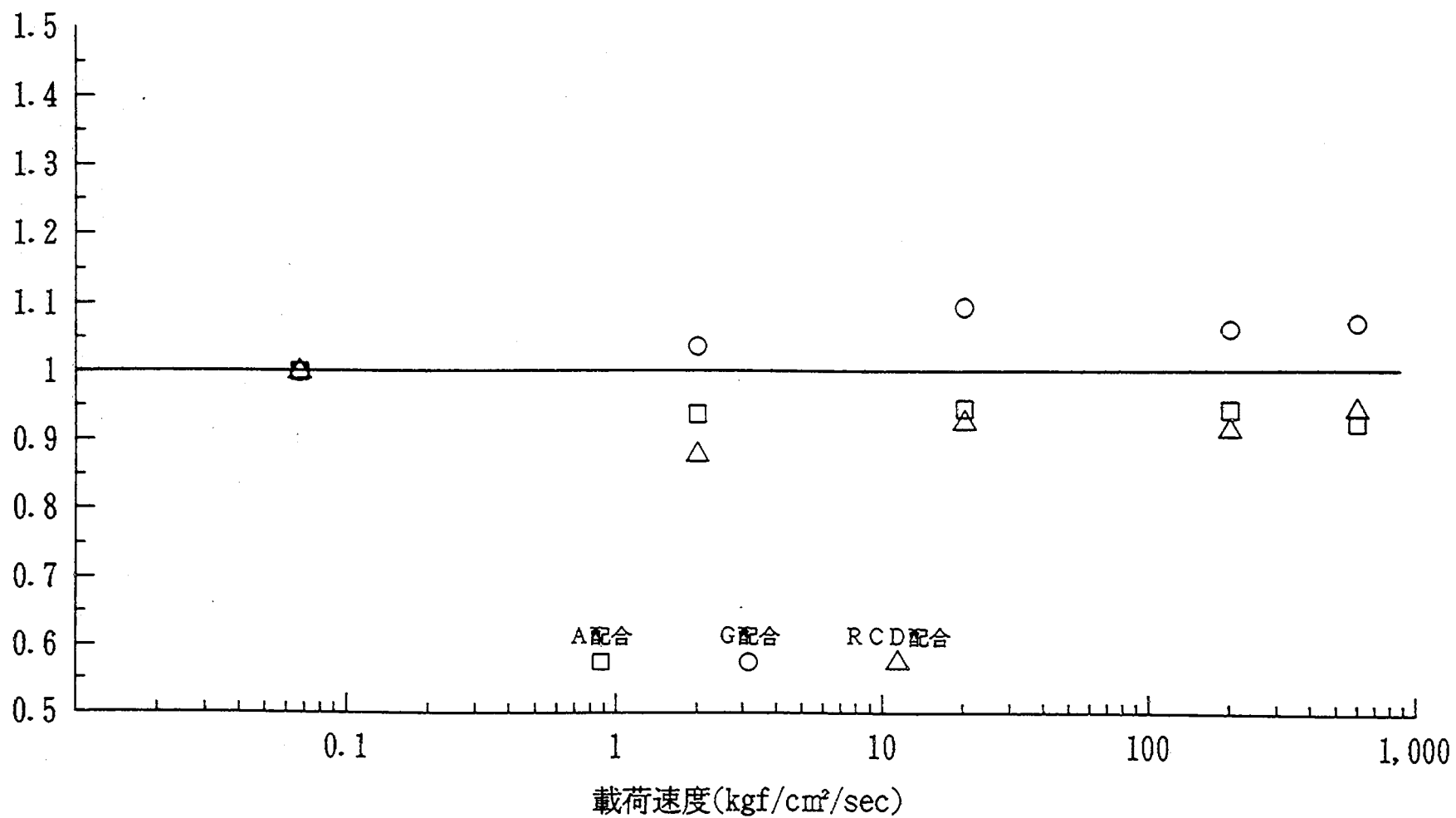


図-3.14 載荷速度が直接引張試験時の修正弾性係数に与える影響

4. まとめ

今回は、ダム用コンクリートのうちRCD用コンクリートの配合について直接引張試験を実施した。今回の直接引張試験から求めた強度、変形特性を整理してとりまとめると、下記のとおりである。

- ① RCD用コンクリートの配合による割裂強度は、一軸圧縮強度の約 $1/9 \sim 1/7$ の値が得られ、アーチ式コンクリートダムの配合の場合に比べて大きく、重力式コンクリートダムの配合の場合と同程度かやや大きい強度比率が得られた。
- ② RCD用コンクリートの直接引張強度は、一軸圧縮強度の約 $1/27 \sim 1/18$ の値が得られ、G配合の場合に比べて小さく、A配合の場合と同程度の強度比率が得られた。
- ③ RCD用コンクリートの直接引張強度は、割裂強度の約35%の値が得られ、G配合、A配合の場合に比べて70~90%程度小さい試験結果であった。
- ④ 一軸圧縮試験時と直接引張試験時の修正弾性係数は、全体的に有意な差はないという結果が得られた。
- ⑤ 一軸圧縮試験時の強度と修正弾性係数、直接引張試験時の強度と修正弾性係数の関係については、試験実施時期が異なるため、厳密な比較はできないが、配合の差による強度の変化に対して弾性係数の変化は比較的小さい結果となった。
- ⑥ 载荷速度の増加に伴う平均的な直接引張強度の増加率は、 $0.067 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$ の引張強度に対して、 $2.0 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$ では約10%、 $20 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$ では約20%、 $200 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$ では約50%、 $600 \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$ では約60%の増加となった。また、この値はA配合、G配合の場合に比べてほぼ同程度の増加率となっており、各配合とも载荷速度が速くなると直接引張強度が増加する傾向が認められた。一方、弾性係数の値は载荷速度によらずほぼ一定の値を示した。

参考文献

- 1) 永山功, 渡辺和夫, 尾畑伸之: ダムコンクリートの直接引張強度についての実験的検討, 土木研究所資料第2914号

ダムコンクリートの直接引張強度
についての実験的検討（その2）

I S S N 0386-5878
土木研究所資料第3193号
平成5年5月（1993年）
永山 功、渡辺 和夫
首藤 美誠、尾畑 伸之

要 旨

近年、動的解析法を用いたコンクリートダムの耐震性の評価、RCD工法を用いたコンクリートダムにおける温度規制のための温度応力解析など、コンクリートダムの設計、施工の合理化の要請に伴って、ダム堤体コンクリート内に発生する引張応力とダム用コンクリートの引張強度の関係を詳細に取り扱わなければならない問題が増えてきている。

本報告書は、直接引張試験装置を用いてコンクリートの直接引張強度を測定し、コンクリートの配合、一軸圧縮強度、弾性係数、割裂強度、荷重・載荷速度等と直接引張強度の関係についてとりまとめたものである。

キーワード：コンクリート，引張強度，載荷速度，RCD用コンクリート

郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
ダム構造研究室
御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第3193号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印