

## 論文 打重ね部を有するコンクリート壁の構造性能に関する基礎研究

松藤 洋明\*1・岩崎 恭平\*1・大村 哲矢\*2

**要旨:** 一般的に建設現場において、コンクリートは連続的に打設するが、規定の打重ね時間間隔を超えた場合、補修の要否を客観的に判断する工学的データがほとんどない。既往の研究において、打重ね部を有するコンクリートの強度を評価するために、曲げ強度を指標としているものが多く、実際の壁を想定しているものが少ない。本研究では、打重ね部を有するコンクリート壁を対象とし、打重ね時間間隔を主な変動要因として試験体を製作し、非破壊試験および載荷試験を行った。コンクリートの打重ね時間間隔と「非破壊試験結果」ならびに「圧縮応力度およびせん断応力度」の関係について工学的データを得た。

**キーワード:** 壁, 打重ね, 打重ね時間間隔, 超音波透過量率, 圧縮応力度, せん断応力度

## 1 はじめに

建設現場において、コンクリートは規定<sup>1)</sup>に基づいて連続的に打設するものとし、硬化後のコンクリートは一体化するように施工する。しかし、作業員と工区面積のバランスが不適切、または、アジテータトラックの到着遅延などにより、コンクリートが連続的に打設されない場合が見受けられる。

打重ね時間間隔の規定<sup>1)</sup>は、外気温 25℃未満であれば 2.5 時間以内、25℃以上であれば 2.0 時間以内としている。

コンクリート打設が不連続ではあったが、適切な施工が行われた場合などにおいても、打重ね面を介して色違いが生じることがある。さらに、打重ねが規定<sup>1)</sup>の打重ね時間間隔を超えるなどにより、打重ね面を介して縁切れが生じた場合は、コンクリート打設の不具合と判断され、補修が必要となる。

著しい色違い、または、色違いと縁切れの間もなく混在の状態など、客観的に明確な判断をすることが困難な場合、補修の要否の判断は監理者の主観に委ねられる傾向にある。<sup>2)</sup>

打重ねが規定<sup>1)</sup>の打重ね時間間隔以内の場合、構造耐力上の強度は確保されることは既往の研究<sup>3)</sup>によって報告されている。

しかし、打重ねが規定<sup>1)</sup>の打重ね時間間隔を超え、コンクリートに打設の層が形成されるなどの不具合（以下、打設の不具合）が生じた場合、強度低下を防ぐための補修が必要となる。

一方、コンクリート打設の打重ねが規定<sup>1)</sup>の打重ね時間間隔以内になるように工事を計画されているが、実際の工事において、コンクリート圧送の筒先における打重ね時間間隔は管理されていない傾向にある。また、コンクリート打設の打重ねが規定<sup>1)</sup>の打重ね時間間隔以内であっても、打設の不具合が生じる事例も少なくないため、

打重ね時間間隔を管理したとしても打設の不具合を防ぐことにはならない。

一般的には、コンクリート打設工事が終了し、養生期間を経て型枠を脱型したあとに、コンクリートに打設の層が形成されたことが把握されることになる。

これらは目視による外観検査に依存し、工学的データは十分ではないため、打重ねが規定<sup>1)</sup>の打重ね時間間隔以内であったか否か、また、打設の不具合であるか否かは、客観的に判断することは困難であり、補修要否の決定は前述と同様に、工事監理者の主観に委ねられる<sup>2)</sup>傾向にある。

補修は、形成されたコンクリート打設の層を除去し、その部位に新たなコンクリートを打設することにより行われる。コンクリート打設の層における界面が良好になるとはいえ、補修後においても、コンクリート打設の層が形成されることにはかわりはない。

加えて、打重ねが規定<sup>1)</sup>の打重ね時間間隔以内で、打設の不具合ではなかったとしても、外観検査に基づいた工事監理者の判断により補修したケースに至っては、補修費と時間が浪費され、不要な騒音、粉塵、廃棄物が生じる結果となる。

よって、コンクリートの打重ね時間間隔、および、コンクリート打設の不具合に関し、型枠脱型後において、コンクリートの一体性を評価するための数値的な指標が求められている。

毛見、藤井らの研究<sup>3)</sup>では、 $F_c$  が  $600\text{kgf/cm}^2$  における角柱試験体(100×100×400mm)を用い、曲げ強度を指標として検討し、打重ね時間間隔が長くなること、かつ、練上り温度が上昇すること、締固めが不十分であること、スランブが小さいことでコールドジョイントが生じやすいことを明らかにした。

また、 $F_c$  が  $600\text{kgf/cm}^2$  における実際の壁体を想定した、

\*1 東京都市大学 総合理工学研究科建築・都市専攻 (学生会員)

\*2 東京都市大学 工学部建築学科准教授 博士(工学) (正会員)

実大部材(1500×900×200mm)から切り出した試験体により、打重ね時間間隔が0, 2, 4時間において曲げ試験を行い、締固め条件にかかわらず、打重ね時間間隔が2時間以降での曲げ強度は低下することを明らかにした。

しかし、コンクリート壁を対象とした研究は極めて少なく、打重ね時間間隔が3.0時間程度の試験体を対象としたものがほとんどである。

本研究では、コンクリート打設の層が形成された部分を模擬したコンクリート壁の試験体を製作し、非破壊試験を行った。また、コンクリート壁の試験体と同条件で製作した円柱試験体、および、コンクリート壁の試験体から採取したコアコンクリートを対象に載荷実験を行った。試験体の打重ね時間間隔は0.5から3.0時間まで、0.5時間刻みで打ち重ねるものとし、コンクリートの「打重ね時間間隔」と「非破壊試験結果」ならびに「圧縮応力度およびせん断応力度」の関係について工学的データを得ることを目的とする。

## 2 実験概要

### 2.1 試験体

図-1に試験体形状、表-1に試験体一覧を示す。打重ね時間間隔(以下、T)は0時間を打重ねなしとし、3時間まで0.5時間刻みの7種類とした。超音波探傷試験を行うための板状試験体、および、載荷試験を行うため

の円柱試験体の2種類とした。板状試験体の厚さ(以下、t)は180~220mm、幅は500mm、高さは板厚の3倍程度とした。

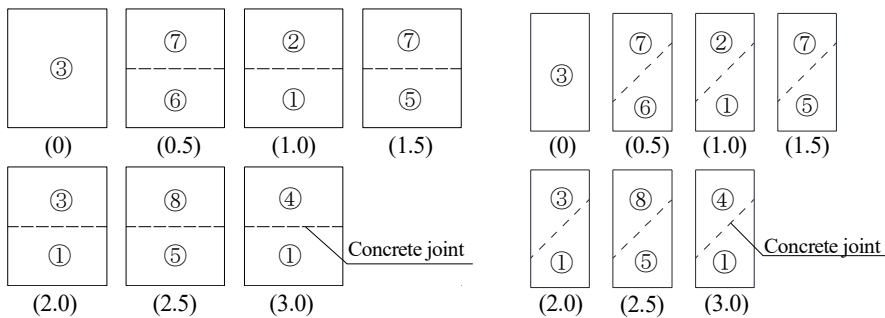
図-2に円柱試験体の形状を示す。直径は100mm、高さは200mmとし、各Tにおいて10本ずつ製作した。また、Tが0時間において、せん断破壊させることを目的とし、図-3のように中央部で断面積A'を25%に狭窄するため、5.5mm厚合板の表面を平滑に処理したのちに45度に傾斜させて固定したもの(以下、A'=25%試験体)を4本加えた。

コンクリート打設は打設番号①~⑧の計8回行い、フレッシュコンクリート練混ぜにおける加水時刻から打設時刻の間を60分程度とした。打重ねを有する試験体においては、板状および円柱試験体ともに、試験体体積の約1/2のコンクリート(以下、先打ち部)を先に打設し、設定のTを空けて残りの部分(以下、後打ち部)のコンクリートを打設した。

円柱試験体においては、45度方向に打重ね面が形成されるように型枠を傾斜して先打ち部を打設し、後打ち部打設時には型枠を鉛直にした。

### 2.2 超音波探傷試験

図-4に超音波探傷試験における探触子配置を示す。使用した探触子は直径が20mm、周波数2MHzである。送信に対する超音波透過量の割合(以下、超音波透過量



Note: The circled number and the number within parentheses are indicated the concrete batch and the time interval, respectively.

(a) Nondestructive specimen

(b) Loaded specimen

図-1 試験体のコンクリートバッチ

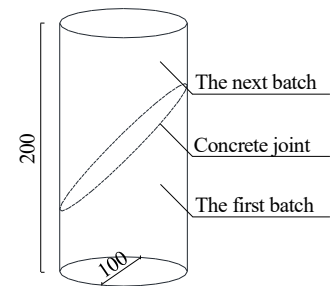


図-2 打重ねあり試験体(mm)

表-1 試験体一覧

(a) Nondestructive specimen								
NO.	Size (mm)	Time (h)	NO.	Size (mm)	Time (h)	NO.	Size (mm)	
1	180	0	8	200	0	15	0	
2		0.5	9		0.5	16	220	0.5
3		1.0	10		1.0	17	×	1.0
4	500	1.5	11	500	1.5	18	500	
5		2.0	12		2.0	19	×	2.0
6	600	2.5	13	600	2.5	20	700	
7		3.0	14		3.0	21	×	3.0

(b) Loaded specimen					
NO.	Time(h)	Pcs.	1st	2nd	
1	0	4	③	-	
2	0.5	10	⑥	⑦	
3	1.0	10	①	②	
4	1.5	10	⑤	⑦	
5	2.0	10	①	③	
6	2.5	10	⑤	⑧	
7	3.0	10	①	④	

Note: The circled number are indicated the concrete batch.

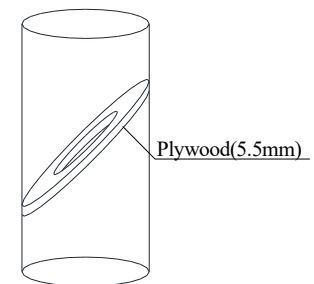


図-3 打重ねなし試験体(A'=25%)

率)を計測した。

2つの探触子は板状試験体を板厚方向に挟むように配置し、打重ね面となす角度を30, 45, 60度の3種類の計測角度とした。また、計測位置は板の長さ方向に、左、中央、右の3箇所とした。

超音波透過量率は打重ねなし(0時間)の試験体において、受信第一波目が送信に対して80%程度となる感度を基準とし、板厚および計測位置ごとに基準を調整した。

## 2.3 載荷試験

### 2.3.1 圧縮試験

載荷は2000kN アムスラー試験機を用い、一方向単調載荷とし、最大荷重を計測した。図-5に載荷時の打重ね面における力のつり合いを示す。打重ね面には界面に直交方向の圧縮力(以下、 $(P \cos \theta) \cdot (A / \cos \theta)$ 、すなわちPA)、および、平行方向のせん断力(摩擦成分 $\mu P \cos \theta$ およびせん断成分 $\tau \cdot (A / \cos \theta)$ )が生じると考える。打重ね面に生じるせん断力は次式<sup>4)</sup>で仮定した。

$$P \cdot \sin \theta = \mu \cdot P \cdot \cos \theta + \tau \cdot A' \quad (1)$$

ここで、 $\theta = 45^\circ$ 、 $\mu = 0.9$

### 2.3.2 簡易一面せん断試験

超音波探傷試験に用いた板状試験体の打重ね面において、直径約100mm、高さ100mmで計27体のコア抜きを実施した。写真-1にコア抜き位置を示す。「打重ね面」と「表面の色違い線」は必ずしも一致していない傾向にあった。

図-6に簡易一面せん断試験の載荷方法を示す。コア抜き試験体において、コンクリート探傷剤を噴霧し、打重ね部を検出し、打重ね部から両側5mmあけて載荷スタブを打設し、簡易一面せん断試験<sup>5)</sup>を行った。圧縮試験機に簡易一面せん断試験用治具を使用して載荷した。

## 2.4 材料特性

表-2に材料特性を示す。コンクリートの打設は、2019年10月26日の13時から16時、および、10月29日の13時から15時30分に実施し、そのときの外気温はそれぞれ22.0~23.0℃、24.0~25.0℃であった。生コンクリートの受入検査においてスランプは16.5~20.5cm、空気量は4.3~4.8%、コンクリート温度は23.0~24.5℃であった。コンクリートの4週圧縮強度は32.0~36.6N/mm<sup>2</sup>、ヤング率は16.6~20.0kN/mm<sup>2</sup>であった。

## 3 非破壊試験結果および考察

図-7に超音波透過量率(以下、透過量率)とTの関係を示す。図中の点線は、0時間の計測結果の平均を切片とした最小二乗法による回帰線を示す。

図-7(a)~(c)に板厚が180, 200, 220mmで、計測角度が30, 45, 60度の結果を示す。各板厚、各計測角度によらず、ばらつきを示した。また、Tの増加に伴い、透過

量率は低下する傾向が見られた。

よって、計測位置は、壁端部より壁中央方向に探触子芯まで100mmを確保できれば、左、中央、右列の測定位

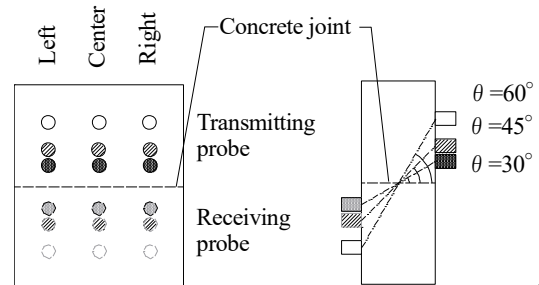


図-4 非破壊試験計測位置

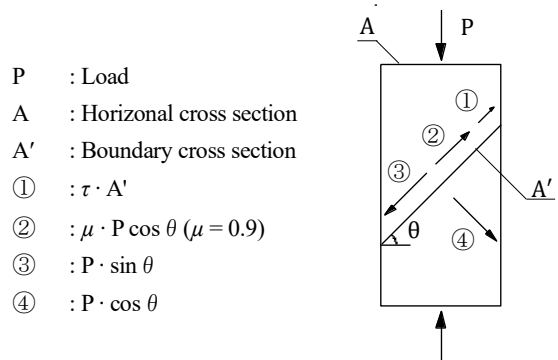


図-5 打重ね面における力のつり合い

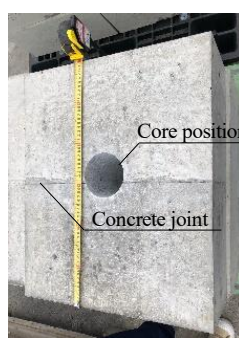


写真-1 コア抜き位置

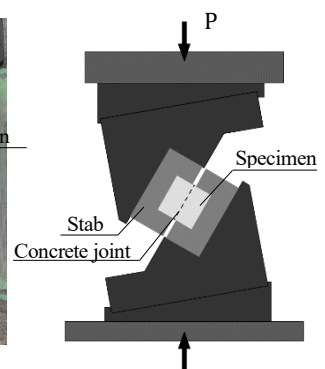


図-6 簡易一面せん断試験

表-2 材料特性

NO.	Slump (cm)	Air (%)	CT (°C)	OAT (°C)	$f'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E$ (kN/mm <sup>2</sup> )
①	20.0	4.8	23.0	22.0	34.1	18.3
②	20.5	4.7	23.0	23.0	34.0	16.6
③	20.5	4.7	23.0	22.0	32.0	20.0
④	19.5	4.7	23.0	22.0	32.4	16.8
⑤	20.5	4.5	23.0	25.0	32.7	18.5
⑥	16.5	4.3	24.5	24.0	35.4	18.6
⑦	18.5	4.6	24.0	25.0	36.6	18.8
⑧	19.5	4.7	24.0	24.0	34.3	19.6

置に関する影響はほとんどみられない。したがって、以降の図における左, 中央, 右列の測定位置における値は, 同板厚, 同計測角度で3回測定したものと評価する。

図-7(d)~(f)に板厚が180, 200, 220mmにおけるTと透過量率の関係を示す。板厚によらず, 同様のばらつきを示した。板厚が180および200mmにおける相関係数はそれぞれ0.15および0.13であり同等の値を示したが, 板厚220mmにおける相関係数は0.06となり, 板厚が180および200mmの値よりも小さい値を示した。

Tの増加に伴い, 透過量率は同様に低下する傾向が見られたため, Tと透過量率の関係において, 180~220mmの範囲における板厚の影響はみられない。

図-7(g)~(i)に計測角度が30, 45, 60度におけるTと透過量率の関係を示す。計測角度が30, 45, 60度では, それぞれ, 回帰線の傾きは-8.9, -14.4, -11.2となり, 計測角度と回帰線の傾きに関する相関性はみられない。

計測角度が45および60度における相関係数は両方も0.14となり同じ値を示したが, 計測角度30度における相関係数は0.20となり, 45および60度の値よりも大きい値を示した。

計測角度が30度においては, Tが0時間のときに透過量率の平均は71%であるのに対し, Tが0.5時間および1.0時間に増加すると, それぞれ60%および56%に減少する。しかし, Tが1.0時間から1.5時間に増加しても透過量率の平均は減少せずに56%から60%に増加する。

同様に, Tが1.5時間から2.5時間に増加すると, それぞれ60%, 50%および41%に減少する。しかし, Tが2.5時間から3.0時間に増加すると, 透過量率の平均は41%から51%に増加するなど, すべての計測結果の平均値においてばらつきがあり, Tの増加に伴い透過量率の低下が必ずしもみられなかったが, 概ね, Tの増加に伴い透過量率は低下する傾向となった。

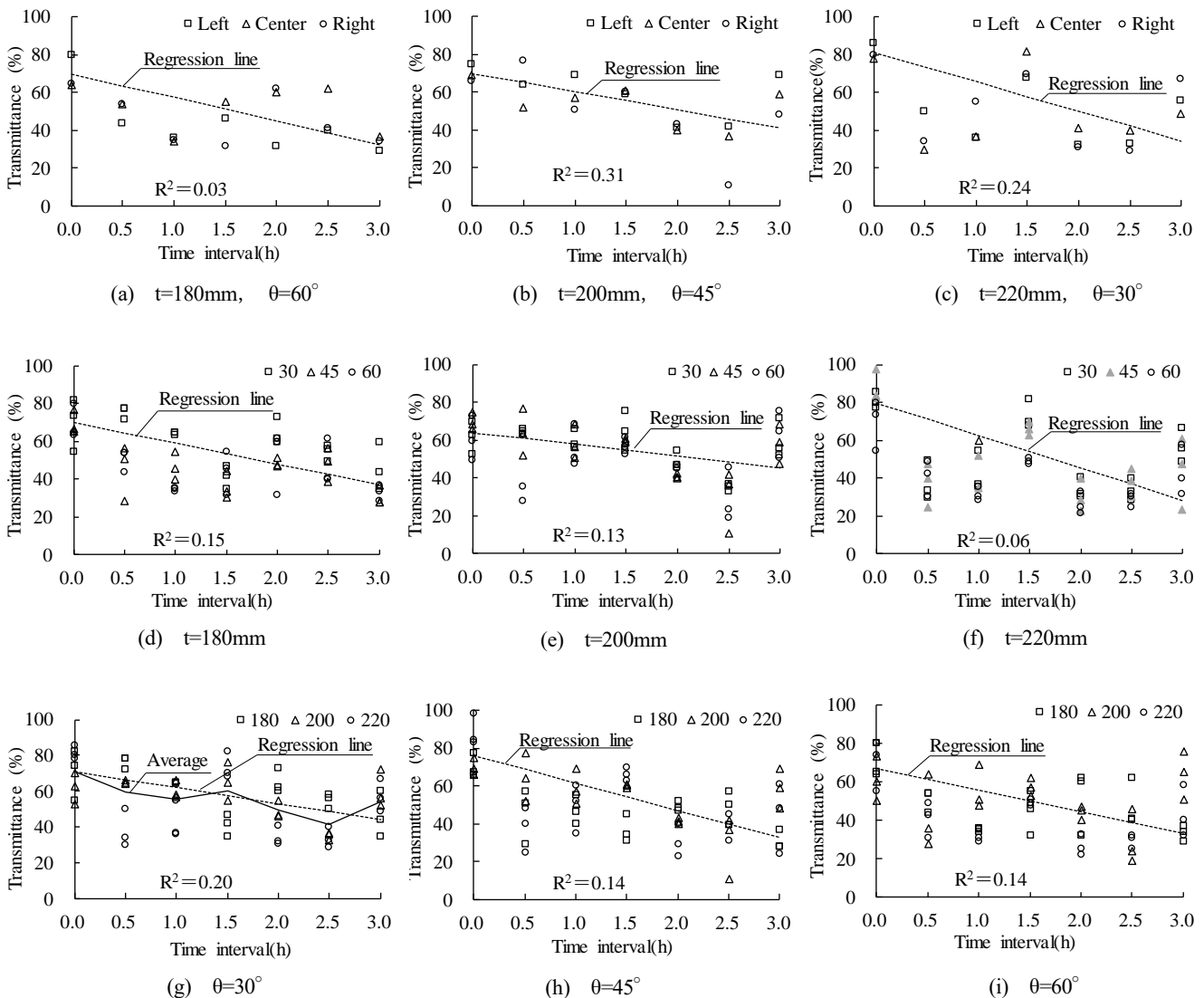


図-7 超音波透過量率とTの関係

#### 4 荷重試験結果および考察

##### 4.1 破壊モードの分類(円柱試験体)

写真-2 に破壊状況を示す。破壊モードは、圧縮破壊(以下, C), せん断破壊(以下, S), 圧縮とせん断の複合的な破壊(以下, CS)の3つに分類するものとした。

T が 0 時間である  $A' = 25\%$  試験体はすべて S であった。打重ねがない一般の圧縮コンクリート材料試験と同様の破壊状況の場合は C, 打重ねによる界面(以下, 界面)は確認できないが界面と平行に破壊面が形成された場合 CS, 界面が確認された場合は S とした。

##### 4.2 破壊モードの割合(円柱試験体)

図-8 にそれぞれの破壊モードの割合を示す。T が 0 時間ではすべて C であった。T が 0.5 時間では, 70% が C で 30% が CS であった。T が 1.0 時間では S がみられ, C が 40% に減少した。

T が 1.5 および 2.0 時間では, S が 60% となり最も大きい値を占めた。T が 2.5 および 3.0 時間では, S が 80% となり, ほとんどを占めたが, C が 20% みられた。規定<sup>リ</sup>の T を超えても必ずしも S となるとは言えない。

一方, 規定<sup>リ</sup>の T 以下であっても S となる場合がある。また, T の増加に伴い, C は減少し, S は増加する傾向にあった。

##### 4.3 コア抜き試験体の破壊状況

写真-3 にコア抜き試験体における破壊状況を示す。すべての試験体は S であった。

また, 赤線で囲われた部分に示す白い部分はレイタンスであると考えられるが, T とレイタンスの相関性は見られなかった。

##### 4.4 圧縮応力度と T の関係(円柱試験体)

図-9 に各破壊モードの圧縮応力度(荷重を水平断面積で除したもの)と T の関係を示す。T が 0 時間は材料特性の値とした。

回帰線に関しては, T の増加に伴い, 圧縮応力度は低下する傾向がみられた。

T が 0 から 1.0 時間に増加すると圧縮応力度は 91% に減少したが, T が 1.0 から 1.5 時間に増加すると圧縮応力度は減少せずに 99% に増加するなど, すべての計測結果においてばらつきがあり, T の増加に伴う圧縮応力度の低下は必ずしもみられなかった。

また, 全データによる回帰線と C のみによる回帰線はほとんど変わらないため, 破壊モードと圧縮応力度が低下することの相関性はみられなかった。

##### 4.5 せん断応力度と T の関係(円柱試験体)

図-10 に T と各破壊モードのせん断応力度(以下,  $\tau$ )の関係を示す。図-5 の①に  $\tau$  を示す。T が 0 時間は  $A' = 25\%$  試験体の値とした。

回帰線に関しては, T の増加に伴い,  $\tau$  は低下する傾向

がみられた。しかし, 圧縮応力度と同様に, すべての計測結果においてばらつきがあり, T の増加に伴う  $\tau$  の低下は必ずしもみられなかった。

また, 全データによる回帰線と S のみによる回帰線はほとんど変わらないため, 破壊モードと  $\tau$  が低下することの相関性はみられなかった。

図中の点線は, RC 規準<sup>9)</sup>に準じ, 圧縮強度に基づいて算出した短期許容せん断応力度を示す。T の増加に伴い,  $\tau$  は低下する傾向にあるが, すべての試験体が短期許容せん断応力度の 1.12 倍以上の値を示した。

##### 4.6 せん断応力度と T の関係(簡易一面せん断試験)

図-11 に T とコア抜き試験体の  $\tau$  の関係を示す。回帰線に関しては, T の増加に伴い,  $\tau$  は低下する傾向がみら



(a) 0.5h C (b) 1.0h CS (c) 3.0h S  
C : Compression S : Shear CS : Compression + Shear

写真-2 破壊モード(円柱試験体)

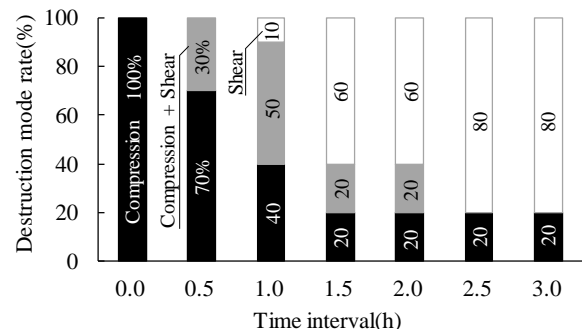


図-8 破壊モードの比率(円柱試験体)

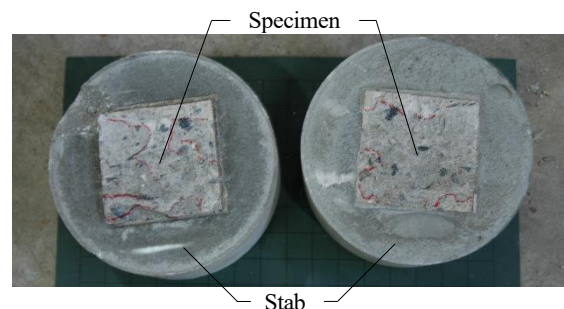


写真-3 コア抜き試験体の破壊状況 (t=180mm, T=2.0h)

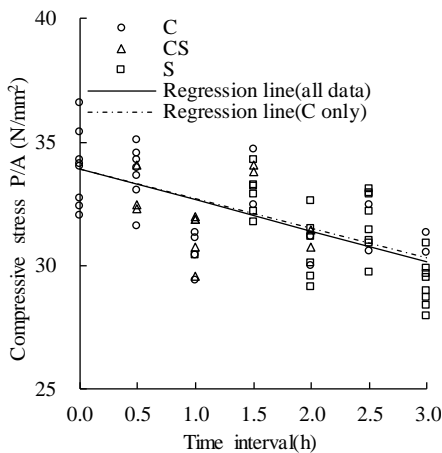


図-9 圧縮応力度とTの関係  
(円柱試験体)

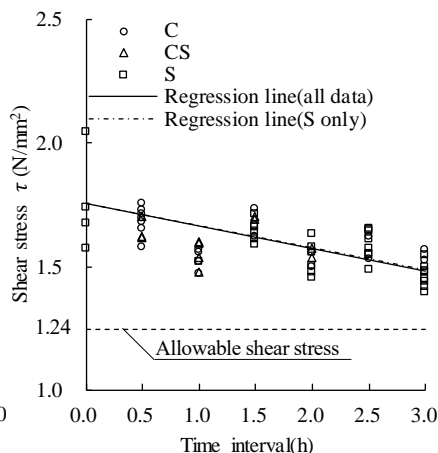


図-10 せん断応力度とTの関係  
(円柱試験体)

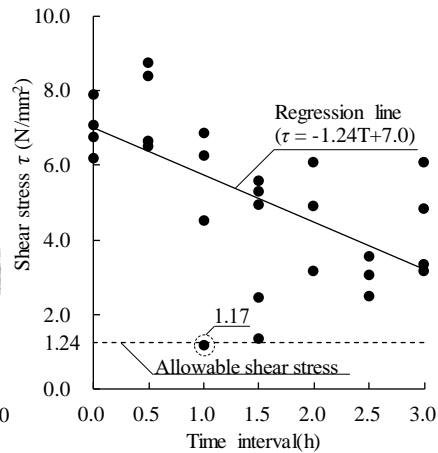


図-11 せん断応力度とTの関係  
(コア抜き試験体)

れた。しかし、円柱試験体と同様に、すべての計測結果においてばらつきがあり、Tの増加に伴う $\tau$ の低下は必ずしもみられなかった。

また、コア抜き試験体の $\tau$ は、円柱試験体の $\tau$ に比べて大きい数値を示す傾向にあった。板状試験体は概ね安全側の $\tau$ を有していると言える。しかし、図-11の破線で囲ったTが1.0時間の試験体1体において、短期許容せん断応力度を満たさず、1.17N/mm<sup>2</sup>を示した。

## 5 まとめ

コンクリートの打重ね時間間隔(T)を0~3時間とした板状、円柱、および、コア抜き試験体を対象に実験を行い、非破壊試験結果ならびに圧縮応力度およびせん断応力度の関係について以下を得た。

- 1) 超音波透過量率の回帰線において、Tの増加に伴い、超音波透過量率は低下する傾向にある。しかし、計測結果においてばらつきがあり、Tの増加に伴う超音波透過量率の低下が必ずしもみられなかった。
- 2) 超音波透過量率の計測角度は打重ね面に対して、鋭角に入射する角度で計測した結果に関する回帰線に対しての相関係数が最も大きかったが、ばらつきがみられた。
- 3) 破壊モードにおいて規定りのTを超えてもSとならず、必ずしも打重ね面が形成されるとは言えない。規定りのT以下であってもSとなり、打重ね面が形成される場合がある。
- 4) Tの増加に伴い、破壊モードCは減少し、Sが増加する傾向にある。
- 5) 円柱試験体の圧縮応力度およびせん断応力度( $\tau$ )とTに関する回帰線において、Tの増加に伴い、圧縮応力度および $\tau$ は低下する傾向にある。しかし、計測結果においてばらつきがあり、Tの増加に伴う圧縮応力度および $\tau$ の低下が必ずしもみられなかった。

- 6) すべての円柱試験体が短期許容応力度の1.12倍以上の値を示した。
- 7) コア抜き試験体における $\tau$ とTに関する回帰線において、Tの増加に伴い、 $\tau$ は低下する傾向にあった。しかし、円柱試験体と同様に、計測結果においてばらつきがあり、Tの増加に伴う $\tau$ の低下が必ずしもみられなかった。
- 8) コア抜き試験体の $\tau$ は、円柱試験体の $\tau$ に比べて大きい数値を示す傾向にあったため、板状試験体は概ね安全側の $\tau$ を有していると言える。

**謝辞** 本成果は東京都市大・東急建設産学連携共同研究開発によります。(株)ジャスト、(株)八洋コンサルタントには多大なご支援を頂きました。関係各位に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書，同解説 JASS 5，鉄筋コンクリート工事，2018
- 2) 土木学会：コンクリート構造物におけるコールドジョイント問題と対策，2000.7
- 3) 藤井和俊ほか：高強度コンクリートのコールドジョイントに関する実験研究 その1-2，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.729-732，1991.9
- 4) 尾関佑介ほか：コンクリート打継面における摩擦力とせん断力に関する考察 その1-2，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.313-316，2016.8
- 5) 土木研究所資料：コンクリートのせん断強度についての実験的考察（その1），p.55，1990.3
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2018.12