

火山礫軽量コンクリートの直接二面せん断強度に関する基礎的研究

長 森 正

星槎道都大学研究紀要

美術学部

創刊号

2020 年

火山礫軽量コンクリートの直接二面せん断強度に関する基礎的研究

長 森 正

要約

本研究は北海道に広く分布している火山礫の支筋降下軽石を、軽量コンクリートの粗骨材として有効活用する目的で実施した一連の強度試験である。これまでに軽量コンクリートの粗骨材として利用した火山礫コンクリートに関する圧縮、引張、曲げ、付着及び繊維補強等の様々な基礎的強度性状について実験研究^{5)~9)}を実施してきた。本論文ではせん断強度に関する文献^{1)~4)}、等を参考にして、曲げ強度試験体を利用した直接二面せん断試験法によりせん断強度試験を実施して圧縮強度、引張強度、曲げ強度との関係を改めて確認した。結果として直接二面せん断強度と圧縮強度との相関関係について検討した結果、一般的に推定されている圧縮強度 f_c の1/4~1/6程度の値に近似した結果を示し、圧縮強度からの推定が十分可能であることを確認した。

1. はじめに

コンクリートの分野において単に「強度」といえば「圧縮強度」を示している。一般的にコンクリートの各種強度（引張強度・曲げ強度・せん断強度）等は、圧縮強度から概ね推定することができる。その値は圧縮強度18~60 N/mm²の範囲では下記に示すような値として推定されている。引張強度は圧縮強度の1/10~1/13、曲げ強度は圧縮強度の1/5~1/7、せん断強度は圧縮強度の1/4~1/6程度とされている。また鉄筋コンクリート構造の設計手法の一つである許容応力度設計法では圧縮、せん断、付着の3種類の許容応力度が設計値として設定されているが、いずれも圧縮強度である設計基準強度 F_c に対する算定式となっている。またJIS試験方法では圧縮強度、引張強度、曲げ強度は確立されているが、せん断強度はJIS試験方法がなく圧縮強度から推定されている現状であり、決定的な基準化された試験方法は確立されていない。これはコンクリートのせん断強度試験方法は従来から国内、国外をあわせても数多くの方法が提案されてきたが、載荷方法や試験機具、供試体形状の複雑化などに一長一短があり、得られるせん断強度にも大きな差異が生じるとされてきた理由による。

これまでに筆者は火山礫を軽量コンクリートを粗骨材として利用した火山礫コンクリートに関する圧縮、引張、曲げ、付着及び繊維補強等の様々な基礎的強度性状について実験研究^{5)~9)}を実施してきたが、上述した理由からこれまでにせん断強度に関して直接試験は実施していない。そこで本論文ではせん断強度に関する研究文献^{1)~4)}、

等を参考にして、曲げ強度試験体を利用した比較的簡単に試験ができる方法で直接二面せん断強度試験を実施する。この試験は直接二面せん断法として実施されている試験方法で、上述した文献から破壊性状が比較の実せん断破壊の様相に近く、広く行われている試験方法である。

本論文ではコンクリートのせん断強度の基礎データを上述した曲げ強度用試験体を利用した直接二面せん断法によりせん断強度試験を実施してデータを取得し、圧縮強度、引張強度、曲げ強度との関係を改めて確認することを目的とし比較検討するものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本実験で使用した火山礫は北海道中部から東部一帯に広く分布しており、北海道早来町美々地区で採集したものである。分類される名称は支筋降下軽石 (Spfa-1) と呼ばれるもので化学組成は人工軽量骨材よりもSiO₂がやや多い割合となっている(表1)。支筋降下軽石 (Spfa-1)の物性は産地により異なるが、よく発泡した絹糸光沢を持つ白色及び桃色の降下軽石である¹⁵⁾。この支筋降下軽石は多孔質で内部に空隙が多数存在しており、粒形は角ばり、実積率は50%程度と低い値を示す。写真1に支筋降下軽石 (Spfa-1)を示す。絶乾密度は軽量粗骨材に比べ約0.6倍のおよそ0.78 g/cm³、表乾密度は約0.7倍のおよそ1.17 g/cm³を示す(表2)。また24時間吸水率は4倍を超える約46%、単位容積質量は約0.5倍を示し、低密度と高い吸水率の火山礫である。また絶乾

状態から水中に浸水させた場合の吸水速度は、多孔質のため速く浸水後3時間で24時間吸水率の70%、9時間で約94%を示す。浸水24時間以降5日間までの吸水率の変化はおおよそ5~7%程度の増加を示す(図1)。この支笏降下軽石を粗骨材として利用するためふるい分け試験を行い、粒径5mm未満は除去し5mmから15mmのものを粗骨材として粒度調整した。また本実験に使用した軽量コンクリートの人工軽量骨材は、膨張頁岩を原料とした非造粒型を使用した。

図1に支笏降下軽石と軽量骨材の浸水経過時間と吸水率の関係を示す。表2に火山礫骨材・人工軽量骨材・普通骨材の物理的性質を示す。

表1 支笏降下軽石及び人工軽量骨材の化学組成

支笏第一 降下軽石 [Spfa-1]	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO
	78.32	0.15	12.39	1.40	0.08
	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	分析
	0.17	1.50	3.80	3.50	WDS*
人工軽量骨材	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
	67.40	17.20	3.90	1.50	1.00

*WDS: 波長分散型スペクトロメーター

1) 2004北海道恵庭市詳細分布調査報告書カリンパ3遺跡(3)

表2 骨材の物理的性質

種類	絶乾密度 (g/cm ³)	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 [*] (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	実積率 (%)
火山礫	0.78	1.17	46.2	393	50.4
軽量粗骨材	1.25	1.61	9.7	794	63.5
軽量細骨材	1.68	2.01	9.8	1110	66.1
普通粗骨材	2.66	2.72	2.07	1650	62.0
普通細骨材	2.44	2.57	2.9	1660	68.0

^{*}24時間吸水率

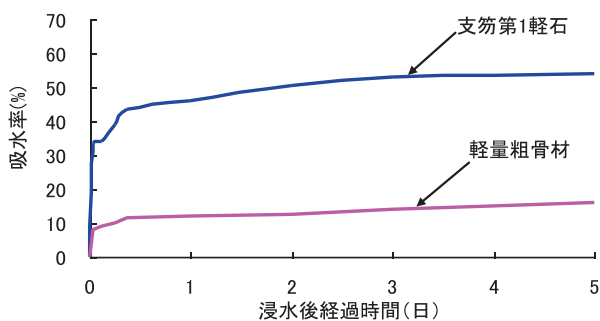


図1 吸水率と経過時間の関係



写真1 支笏降下軽石 (Spfa-1)

2.2 調合方法

コンクリートの種類は骨材種別、圧縮強度の大小から検討し、普通コンクリートをNA、人工軽量コンクリート2種をLA、火山礫コンクリートをL50及びL100とした4種類とする。これらの圧縮強度は既往の実験⁶⁾から、10N/mm²~40N/mm²程度の範囲である。本実験では軽量コンクリート2種を基準とし、粗骨材に対し支笏降下軽石を容積比で50%と100%の2種類容積置換したものを火山礫コンクリートとした。

調合は普通コンクリートをNAとして、設計基準強度F_c:24N/mm²、スランプ18cm、粗骨材最大寸法G_{max}:20mm、人工軽量コンクリート2種をLAとして、標準調合から、呼び強度24N/mm²、水セメント比48%、スランプ18cm、目標空気量5%の組み合わせを使用した。火山礫コンクリートは容積比で50%置換した調合をL50、100%置換した調合をL100とした。使用したセメントは普通ポルトランドセメント(密度3.15g/cm³)、混和剤はAE減水剤を単位セメント量の0.25%を使用した。またコンクリート製造時の骨材含水状態は24時間以上十分に吸水させ、表面水を除去し表乾状態として使用した。

普通コンクリートの調合表を表3に、軽量コンクリート2種の調合表を表4に、火山礫コンクリートの調合を含む4種類の調合表を表5に示す。

表3 普通コンクリート調合表

種類	設計基準強度 (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
普通 コンクリート	24	57	41	18	4.5
	単位量(kg/m ³)				
	W	C	S	G	AE減水剤
	180	314	722	1072	0.78

W:水, C:セメント, S:普通細骨材, G:普通粗骨材, s/a:細骨材率

表4 軽量コンクリート2種調合表

種類	呼び強度 (N/mm ²)	W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
軽量2種	24	48	49	18	5.0
	単位量(kg/m ³)				
	W	C	S	G	AE減水剤
	180	375	641	535	0.94

W:水, C:セメント, S:軽量細骨材, G:軽量粗骨材, s/a:細骨材率

表5 調合表

種類	W/C	単位量(kg/m ³)					備考
		W	C	S	G	火山礫	
NA	57	180	314	722	1072	-	普通
LA	48		375	641	535	-	軽量2種
L50	48				267	194	火山礫50%
L100	48				-	388	火山礫100%

2.3 試験方法

せん断試験に関しては、文献^{1)~4)}を参考にして4点載荷による二面せん断強度試験を検討する。これはJISには規定されていないが、関連学協会等では鋼繊維補強コンクリートを対象とした二面せん断試験方法が提案されている。土木学会では「JSCE-G553 鋼繊維補強コンクリートのせん断強度試験方法」¹⁰⁾、コンクリート工学会では「JCI-SF6 繊維補強コンクリートのせん断強度試験方法」である。今回のコンクリートは繊維補強ではないが、上記試験に準拠して実施する。

二面せん断強度試験タイプの試験方法は、曲げ試験終了後の二つに切断された試験体を再利用する。これは新たに製作する必要が無く、さらに曲げ強度の確認できた供試体でせん断強度も同時に試験することが出来る利点があるためである。圧縮・引張・曲げ・せん断試験の各試験方法は以下に示すJIS試験に準拠して実施する。

- ①JIS A 1108「コンクリート圧縮強度試験」
- ②JIS A 1113「コンクリート割裂引張試験」
- ③JIS A 1106「コンクリート曲げ強度試験」
- ④JSCE-G502「コンクリートの静弾性係数試験」
- ⑤JCI-SF6「繊維補強コンクリートのせん断強度」
- ⑥JSCE-G553「鋼繊維補強コンクリートのせん断強度試験方法」

圧縮・引張試験の供試体はΦ100×200 mmの円柱供試体とする。曲げ試験の供試体は断面100×100 mm、長さ400 mmの角柱とし、3等分点載荷法による試験とする。せん断試験体は曲げ試験終了後の切断された破断試験体とする。なお供試体の養生方法は20℃水中養生とした。

図2.2に二面せん断試験の載荷図を示す。

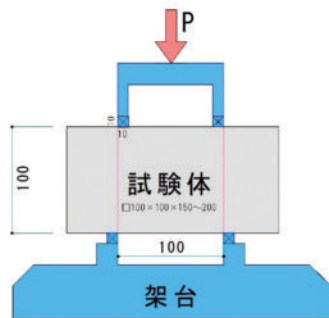


図2 二面せん断試験載荷図

3. 結果及び考察

3.1 硬化コンクリートの性状

硬化コンクリートの試験結果を表6に示す。圧縮強度試験、割裂引張強度試験の結果はそれぞれ3本の平均で試験材齢は28日水中養生(20℃)とした。

(1) 圧縮強度特性

基準の普通コンクリートNAの2340 kg/m³に対して、軽量コンクリートLAが1700 kg/m³、火山礫50%置換タイプL50が1672 kg/m³、火山礫100%置換タイプL100が1584 kg/m³を記録した。普通コンクリートに対して密度の低減率は、LAが27%、L50が28%、L100が32%となった。また軽量コンクリートの粗骨材に火山礫骨材を50%及び全量100%置換した場合は、約7%の密度の低下を記録した。

普通コンクリートNAは設計基準強度に対して平均値が26.1 N/mm²を記録しほぼ設計値と等しい値を記録した。それに対し、軽量コンクリート2種LAは標準調合表の呼び強度24 N/mm²に対して平均値が36.2 N/mm²を記録し大きく上回る値をしめした。過去の実験結果からも呼び強度よりも上回る傾向を示しているため、調合強度をより安全側に多く取っていると思われる。

火山礫置換コンクリートは50%置換したL50タイプで22.1 N/mm²を、L100タイプで16.3 N/mm²を記録し、基準の軽量コンクリートLAのそれぞれ約61%と45%を記録した。この値はこれまでの既往の実験結果をほぼ同じ値であり、圧縮強度発現率は火山礫50%置換で約60%、粗骨材を全量置換した100%では約40%程度の圧縮強度が見込めることがわかる。図3に各調合の圧縮強度の比較図を示す。

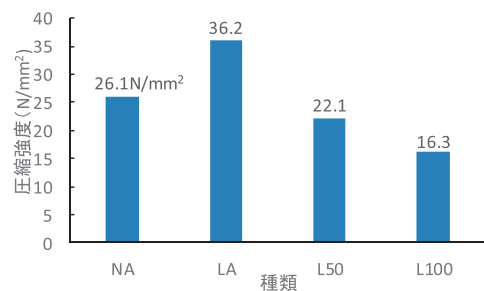


図3 圧縮強度試験結果

表6 試験結果

記号	スランプ	見掛け密度	圧縮強度	偏差	引張強度	偏差	曲げ強度	偏差	静弾性係数×10 ⁴	せん断強度	備考
	(cm)	(kg/m ³)	(N/mm ²)		(N/mm ²)		(N/mm ²)		(N/mm ²)	(N/mm ²)	
NA	15.5	2340	26.1	1.1	2.3	0.6	3.0	0.7	2.43	5.82	普通
LA	18.7	1699	36.2	0.9	2.5	0.8	2.2	0.6	1.55	5.33	軽量2種
L50	17.6	1672	22.1	5.1	2.1	0.7	2.3	0.3	1.46	4.18	火山礫50%
L100	17.0	1584	16.3	1.6	1.6	0.2	1.9	0.1	1.09	3.81	火山礫100%

(2) 圧縮強度と静弾性係数

圧縮強度と静弾性係数の関係を図4に示す。なお図中には日本建築学会の「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説許容応力度設計法1999」¹¹⁾によるコンクリートの静弾性係数に関する規準式(旧来式)の参考曲線を記入した。(1式)

$$E = 21000 \times (\gamma / 23)^{1.5} \times (F_c / 20)^{1/2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

γ : コンクリートの気乾単位体積重量 (kN/m³)

F_c : コンクリート圧縮強度 (N/mm²)

但し、実験値の見掛け密度は表6に示すように差があるため、コンクリートの気乾単位体積重量は $\gamma = 19, 20$ kN/m³ の2種類の規準式を記載した。

見掛け密度の平均値は NA が 23.4 kN/m³, LA が 17.0 kN/m³, L50 が 16.7 kN/m³, L100 が 15.8 kN/m³ ある。静弾性係数の値は NA で 1.77~2.46×10⁴ N/mm², LA で 1.51~1.57×10⁴ N/mm², L50 で 1.29~1.78×10⁴ N/mm², L100 で 1.05~1.13の範囲を示した。ややバラツキがあるが LA と火山礫タイプは規準式曲線付近の $\gamma = 18 \sim 20$ kN/m³ 付近に各データはプロットされている。したがって本実験の圧縮強度と静弾性係数の関係では、概ね単位容積質量に対応した RC 規準式の近くに分布しており、比較的良好な相関が認められた。

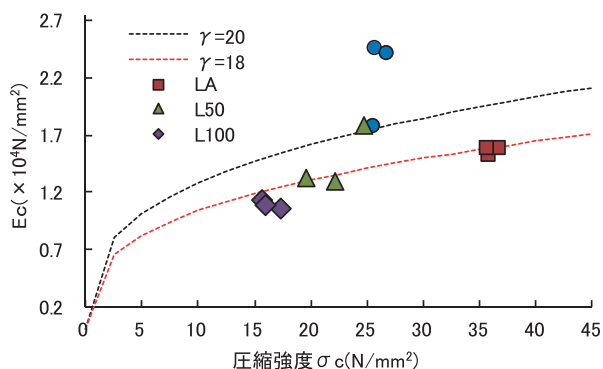


図4 圧縮強度と静弾性係数の関係

(3) 引張強度特性

引張強度は基礎的データ収集の目的と簡便な試験方法であることから割裂引張強度試験により実施した。普通コンクリート NA が 2.3 N/mm², 軽量コンクリート 2 種 LA が 2.5 N/mm², 火山礫 50% タイプ L50 が 2.1 N/mm², 火山礫 100% タイプ L100 が 1.6 N/mm² を記録した。

圧縮強度と割裂引張強度の関係で σ_t / f_c を検討すると、NA が約 1/11, LA が約 1/14, L50 及び L100 が約 1/10 を記録した。LA は圧縮強度が 36.2 N/mm² と大きな値を記録したことから、割裂引張強度比は 1/14 と一番低い値を示したが、NA・L50・L100 は一般的に示されている通り圧縮強度に対する値が 1/10 程度を記録しており、概ね妥当な値であった。

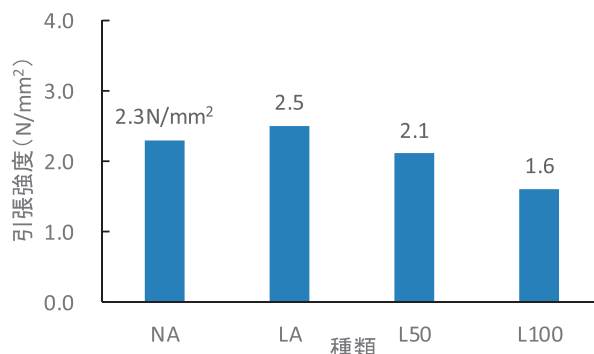


図5 引張強度試験結果

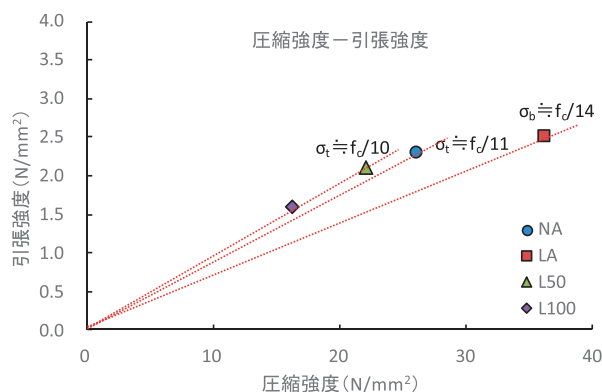


図6 圧縮強度と引張強度の関係

図5に引張強度の比較図を、図6に圧縮強度と引張強度の関係図を示す。

(4) 曲げ強度特性

普通コンクリート NA は 2.68 N/mm² から 3.30 N/mm² の幅を示し平均で 3.00 N/mm² を記録した。軽量コンクリート 2 種 LA は 1.83 N/mm² から 2.45 N/mm² の幅を示し平均で 2.19 N/mm² を記録した。火山礫 50% タイプ L50 は 2.14 N/mm² から 2.41 N/mm² の幅を示し平均で 2.31 N/mm² を記録した。火山礫 100% タイプ L100 は 1.88 N/mm² から 2.01 N/mm² の幅を示し平均で 1.94 N/mm² を記録した。

以上の結果から曲げ強度は普通コンクリート NA が高い値を示した。軽量コンクリート 2 種 LA は NA よりも圧縮強度が 1.38 倍と高強度であるが、曲げ強度では NA の 0.73 倍と低い値を記録した。これは人工軽量粗骨材は軽量であるが骨材自体が外力により割れが多数確認されていることから、割裂引張強度と同様に曲げ強度は低い値を記録したと思われる。また火山礫 50% タイプの曲げ強度は LA と 5% 程度の強度差であり殆ど差異は無い結果であった。ことことから軽量コンクリート 2 種の調合に低強度の火山礫を 50% 程度置換しても曲げ強度の大きな差は無い結果を示した。また予測通り火山礫 100% タイプ L100 は低い値を記録した。人工軽量粗

骨材を全量火山礫で置換した場合は 12% 程度の曲げ強度低下が確認された。図 7 に曲げ強度の比較図を示す。

(5) 直接二面せん断強度特性

従来コンクリート構造物の設計において、コンクリートの純せん断強度が問題にされることは少なく、せん断強度を試験によって直接求める例は少なく稀である。

JIS には規定されていないが、関連学協会等では鋼繊維補強コンクリートを対象とした二面せん断試験方法が提案されている。土木学会では「JSCE-G553 鋼繊維補強コンクリートのせん断強度試験方法」¹⁰⁾、コンクリート工学会では「JCI-SF6 繊維補強コンクリートのせん断強度試験方法」である。今回のコンクリートは繊維補強ではないが、上記試験に準拠して実施した結果である。

JIS 試験要領に準拠して、3 等分点載荷法による曲げ試験を実施した後、その破壊された両端の試験片を 4 点載荷による二面せん断試験を図 2 に示すように実施した。NA のせん断強度が最大で 5.82N/mm^2 、LA が 5.33N/mm^2 、L50 が 4.18N/mm^2 、L100 が 3.81N/mm^2 を記録した。普通コンクリート NA と軽量コンクリート 2 種 LA の圧縮強度差は LA が 1.38 倍と大きい、せん断強度差は LA が 10% 程度で低い値を示した。せん断強度も曲げ強度と同様に、軽量コンクリート 2 種の人工軽量粗骨材自体が外力による割裂（割れ）することが関係すると思われる。火山礫 50% タイプ L50 は軽量コンクリート 2 種 LA の約 0.8 倍、火山礫 100% タイプ L100 は LA の約 0.7 倍程度の値を示した。また L50 と L100 とのせん断強度差は約 9% 程度であった。

全般的なせん断破壊状況は二面あるせん断面のうち、どちらかの面に脆性的にせん断破壊が生じる破壊タイプと、中央部に微細な曲げひび割れが発生し、その後最大荷重載荷時にどちらか一方のせん断面に脆性的にせん断破壊が生じるタイプの 2 種類が見受けられた。両側のせん断面が同時にせん断破壊する状況は発生していない。

せん断強度の比較図を図 8 に示す。試験時のせん断破壊状況の一例を写真 2、写真 3 に示す。

(6) 曲げ強度と圧縮強度の相関関係

コンクリートの曲げ試験方法には、中央点載荷法と 3 等分点載荷法がある。3 等分点載荷法が一般的であり、破壊時の曲げモーメントを断面係数で除して求める方法である。中央点載荷法と比較すると見掛けの曲げ強度は小さくなる。これは中央点載荷法の曲げモーメントが最大 1 断面に限定されるのに対し、3 等分点載荷法は載荷点間の中央がすべて同一曲げモーメントとなり、その中央間の最も弱い断面で破壊することに関係している。なお、3 等分点載荷法によって求めた曲げ強度は、一般的

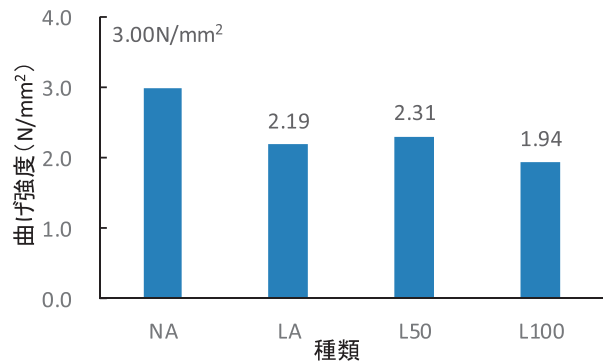


図 7 曲げ強度試験結果

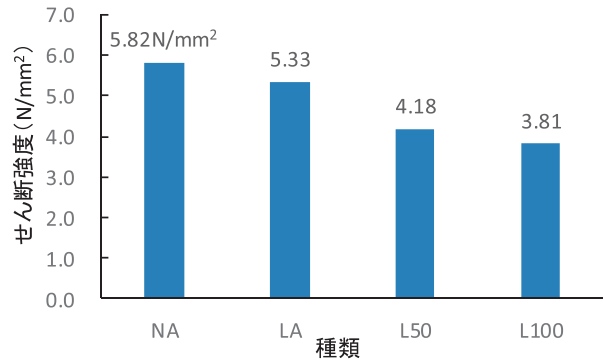


図 8 せん断試験結果



写真 2 せん断破壊状況（左せん断面）

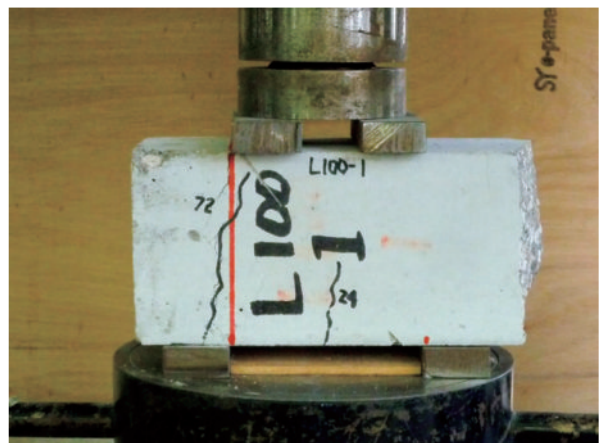


写真 3 せん断破壊状況
（左せん断面及び中央部曲げひび割れ）

な値として圧縮強度の1/5~1/8程度である。

このことから実験値の σ_b/f_c を検討してみると、普通コンクリートNAと火山礫タイプL100はほぼ同じ値で約1/8~1/9であった。火山礫タイプL50は約1/10。軽量コンクリート2種LAは圧縮強度が設計呼び強度よりも著しく大きな試験値のため、約1/16を記録した。

図9に曲げ強度と圧縮強度の相関関係図を示す。

(7) 曲げ強度と直接二面せん断強度の相関関係

曲げ強度 σ_b と直接二面せん断強度 τ の平均値の相関関係を $[\tau/\sigma_b]$ で検討してみると、次のような結果を得た。

- ・普通コンクリートNA： $\tau \doteq 1.94\sigma_b$
- ・軽量コンクリート2種： $\tau \doteq 2.43\sigma_b$
- ・火山礫50%置換タイプ： $\tau \doteq 1.82\sigma_b$
- ・火山礫100%置換タイプ： $\tau \doteq 2.00\sigma_b$

上記の結果から軽量コンクリート2種のタイプの直接二面せん断強度値が大きく、曲げ強度の約2.4倍を示している。普通コンクリートNAと火山礫タイプのL50、L100では比較的近似しており、直接二面せん断強度は曲げ強度の約1.8倍から2.0倍程度を示している。したがって、各種コンクリートの曲げ強度と直接二面せん断強度の関係は上記関係式により推定できると思われる。

図10に曲げ強度と直接二面せん断強度の相関関係図を示す。

(8) 圧縮強度と直接二面せん断強度の相関関係

圧縮強度 f_c と直接二面せん断強度 τ の平均値の相関関係を $[f_c/\tau]$ で検討してみると、次のような結果を得た。

- ・普通コンクリートNA： $\tau \doteq f_c/4.5$
- ・軽量コンクリート2種： $\tau \doteq f_c/6.8$
- ・火山礫50%置換タイプ： $\tau \doteq f_c/5.3$
- ・火山礫100%置換タイプ： $\tau \doteq f_c/4.3$

上記の結果から軽量コンクリート2種LAの直接二面せん断強度値が大きく $\tau \doteq f_c/6.8$ を示したが、他は一般的な推定式の1/4~1/6の範囲に収まっている。これはLAの圧縮強度が予備強度より著しく大きい為であり、調査予備強度値に近い圧縮強度であったならばLAもこの値に収まると思われる。したがって、圧縮強度と直接二面せん断強度の関係は上記関係式により推定できると思われる。

図11に圧縮強度と直接二面せん断強度の相関関係図を示す。

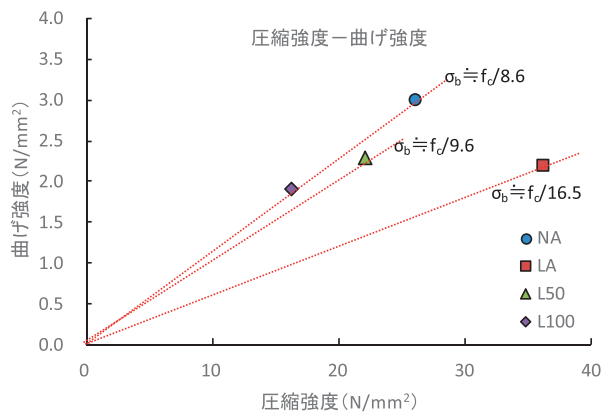


図9 圧縮強度と曲げ強度の相関関係

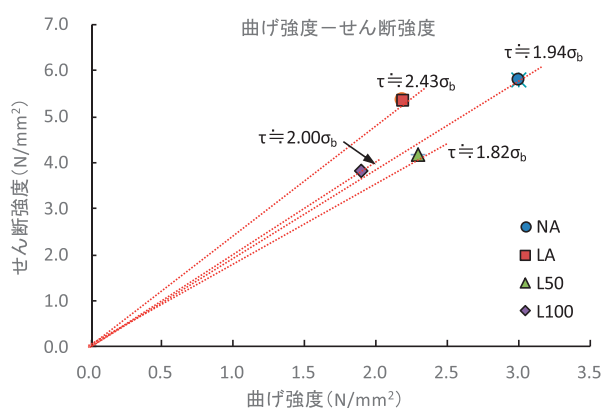


図10 直接二面曲げ強度とせん断強度の相関関係

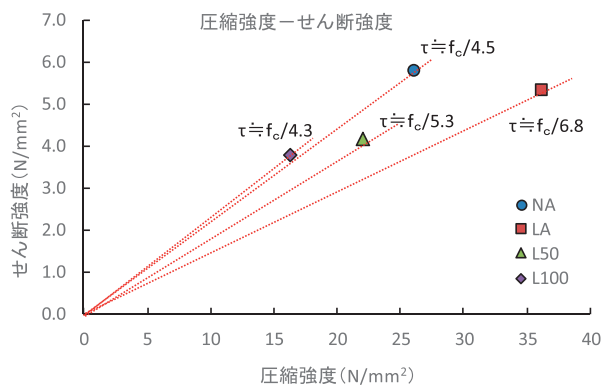


図11 圧縮強度と直接二面せん断強度の相関関係

4. まとめ

本研究はせん断強度に関する文献¹⁾，等を参考にして、曲げ強度試験体を利用した比較的簡単に試験ができる方法で実せん断強度試験を実施した。この試験は直接二面せん断法として実施されている試験方法で、上述した文献から破壊性状が比較の実せん断破壊の様相に近く、広く行われている試験方法である。この試験方法を用いて

実せん断強度のデータを取得し、圧縮強度、引張強度、曲げ強度との関係を改めて確認することを目的とし比較検討した。その結果実験範囲内で次のような知見が得られた。

- 1) 火山礫コンクリートの圧縮強度は 50% 置換した L50 タイプで 22.1 N/mm^2 を、L100 タイプで 16.3 N/mm^2 を記録し、基準の軽量コンクリート LA のそれぞれ約 61% と 45% を記録した。この値はこれまでの既往論文結果と同程度であり、圧縮強度発現率は火山礫 50% 置換で約 60%、粗骨材を全量置換した 100% では約 40% 程度の圧縮強度が見込めることがわかる。
- 2) 圧縮強度に対する引張強度の割合は、NA が約 1/11、LA が約 1/14、L50 及び L100 が約 1/10 を記録した。LA は圧縮強度が 36.2 N/mm^2 と大きな値を記録したことから、割裂引張強度比は 1/14 と一番低い値を示したが、 $NA \cdot L50 \cdot L100$ は一般的に示されている通り圧縮強度に対する値が 1/10 程度を記録しており、概ね妥当な値であった。
- 3) 圧縮強度と割裂引張強度の相関関係は、普通コンクリート NA は約 1/11、軽量コンクリート 2 種 LA は約 1/14、火山礫タイプ L50 は約 1/11、火山礫タイプ L100 は約 1/10 の関係をそれぞれ示した。一般的な普通コンクリートの場合の相関関係 1/10 程度であることを考えると普通コンクリート NA と火山礫タイプ L50 及び L100 は概ね妥当な相関関係であった。軽量コンクリート 2 種 LA は圧縮強度が予備強度の 24 N/mm^2 を大きく上回る 36.2 N/mm^2 を記録したため相関関係が 1/14 という低い結果になった。
- 4) 静弾性係数の値は NA で $1.77 \sim 2.46 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、LA で $1.51 \sim 1.57 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、L50 で $1.29 \sim 1.78 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、L100 で $1.05 \sim 1.13 \text{ N/mm}^2$ の範囲を示した。ややバラツキがあるが LA と火山礫タイプは規準式曲線付近の $\gamma = 18 \sim 20 \text{ kN/m}^3$ 付近に各データはプロットされている。したがって本実験の圧縮強度と静弾性係数の関係では、概ね単位容積質量に対応した RC 規準式の近くに分布しており、比較的良好な相関を示した。
- 5) 曲げ強度は火山礫 50% タイプ L50 では LA と 5% 程度の強度差であり殆ど差異は無い結果であった。ことことから軽量コンクリート 2 種の調合に低強度の火山礫を 50% 程度置換しても曲げ強度の大きな差異は無い結果を示した。また火山礫 100% タイプ L100 は更に低い値を記録した。人工軽量粗骨材を全量火山礫で置換した場合は 12% 程度の曲げ強度低下を確認した。
- 6) 直接二面せん断強度も曲げ強度と同様に、軽量コンクリート 2 種の人工軽量粗骨材自体が外力による割裂（割れ）することが関係すると思われる。火山礫 50% タイプ L50 は軽量コンクリート 2 種 LA の約 0.8 倍、火山礫 100% タイプ L100 は LA の約 0.7 倍程度の値を示した。また L50 と L100 とのせん断強度差は約 9% 程度であった。全般的なせん断破壊状況は二面あるせん断面のうち、どちらかの面に脆性的にせん断破壊が生じる破壊タイプと、中央部に微細な曲げひび割れが発生し、その後最大荷重載荷時にどちらか一方のせん断面に脆性的にせん断破壊が生じるタイプの 2 種類が見受けられた。両側のせん断面が同時にせん断破壊する状況は発生していない。
- 7) 曲げ強度 σ_b と直接二面せん断強度 τ の平均値の相関関係 $[\tau/\sigma_b]$ は 3.1(7) で示す結果を得た。この結果から軽量コンクリート 2 種のタイプの直接二面せん断強度値が大きく、曲げ強度の約 2.4 倍を示している。普通コンクリート NA と火山礫タイプの L50、L100 では比較的近似しており、直接二面せん断強度は曲げ強度の約 1.8 倍から 2.0 倍程度を示した。各種コンクリートの曲げ強度と直接二面せん断強度の関係は上記関係式により推定できるとと思われる。
- 8) 圧縮強度 f_c と直接二面せん断強度 τ の平均値の相関関係 $[f_c/\tau]$ は 3.1(8) で示す結果を得た。この結果から軽量コンクリート 2 種 LA の直接二面せん断強度値が大きく $\tau \approx f_c/6.8$ を示したが、他は一般的な推定式の 1/4~1/6 の範囲に収まっている。これは LA の圧縮強度が呼び強度より著しく大きい為であり、呼び強度値に近い圧縮強度であったならば LA もこの値に収まるとと思われる。圧縮強度と直接二面せん断強度の関係は上記関係式により推定できるとと思われる。
- 9) 実験結果から得られた直接二面せん断強度と圧縮強度との相関関係について、曲げ強度、引張強度とともに比較検討した結果、一般的に推定されている圧縮強度 f_c の 1/4~1/6 程度の値に近似した結果を示し、圧縮強度からの推定が十分可能であることを確認できた。

参考文献

- 1) 魚本健人・峰松敏和：コンクリートのせん断強度試験方法の関する基礎的研究, コンクリート工学論文 No.81.4-2
- 2) 佐藤立美：コンクリートせん断強度に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, 2008
- 3) 高野真希子他：コンクリートの実用せん断強度の定式化と RC はりのせん断圧縮破壊強度算定への適用性, 日本大学生産工学部研究報告 A, 2003 年 6 月第 36 巻第 1 号
- 4) 高野真希子他：圧縮荷によるコンクリートの実用せん断強度決定法に関する研究, 土木学会第 56 回年次学術講演会, 平成 13 年 10 月
- 5) 長森正：ビニロン繊維 (PVA fiber) を混入した火山礫軽量コンクリートの力学的特性 (その 1), 道都大学紀要, 美術学部第 43 号, pp.63-70, 2017
- 6) 長森正：火山礫を置換した軽量コンクリートの強度特性に関する基礎的研究, コンクリート工学論文集, 第 17 巻 1 号, pp.17, 2006
- 7) 長森正：火山礫を置換した軽量コンクリート床版の押抜きせん断耐力に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.327-328, 2007.9
- 8) 長森正：火山礫を置換した軽量コンクリートの付着性状に関する基礎的研究, 道都大学紀要, 美術学部第 33 号, pp.75-81, 2007
- 9) 長森正, 越前谷智:火山礫を利用した軽量コンクリートの強度・乾燥収縮性状に関する実験的研究, 資源・素材学会誌 Journal of MMIJ Vol.127 pp.46-51, 2011.1
- 10) 土木学会コンクリート委員会：コンクリート標準示方書規準編 社団法人土木学会, 2000.6 P452～
- 11) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法 1999 社団法人日本建築学会 平成 12 年 4 月 P38～
- 12) 建築実験技術研究会：建築実験法 彰国社 1996 年 4 月 P157～
- 13) 建材試験センター：コンクリートの基礎講座Ⅱ基礎編「硬化コンクリート (強度性状)」
- 14) 太平洋マテリアル(株)：技術資料構造用人工軽量骨材アサノライト
- 15) 日本第四紀学会編集委員会編：第四紀露頭集日本のテフラ, pp.2627, 1996
- 16) 北海道恵庭市教育委員会編：2004 北海道恵庭市詳細分布調査報告書カリンバ 3 遺跡(3), pp.212, 2004

Fundamental Study on Direct Double Shear Strength of Lapilli Lightweight Concrete

NAGAMORI Tadashi

Abstract

This study is a series of strength tests conducted for the purpose of effectively utilizing the shikotsu pumice fall of lapilli debris widely distributed in Hokkaido as coarse aggregate of lightweight concrete. Until now, we have been conducting experimental research on various basic strength properties such as compression, tension, bending, adhesion and fiber reinforcement of lapilli concrete used as coarse aggregate of lightweight concrete.

In this paper, the actual shear strength test was conducted by the direct double shear test method using a bending strength specimen with reference to the literature on the shear strength. The relationship between the compressive strength, tensile strength and bending strength was confirmed again.

As a result, the correlation between actual shear strength and compressive strength was discussed. The result showed that the value approximated to a value of about 1/4 to 1/6 of the generally estimated compressive strength. It was confirmed that the estimation from the compressive strength was sufficiently possible.

