

気泡混合軽量土の曲げ強度に関する研究

防災設計工学研究室
指導教官

小林秀幸
海野隆哉

1. はじめに

気泡混合軽量土（以下軽量土）を用いた盛土の場合、一軸圧縮強さ q_u を基本とし設計しているために圧縮やせん断に対する研究が多くなされているが、曲げや引張に関する研究事例が少ないのが現状である。そこで、本研究では軽量土の梁供試体を作製し、軽量土が有する曲げ強さおよび曲げを受ける部材の力学特性を検証するために、曲げせん断スパン比、寸法効果を考慮した各ケースについて試験を行った。また、軽量土が有する引張強さを調べるため純引張試験も行った。

2. 曲げ試験

2-1 試験条件

曲げ試験は以下の3種類の供試体について行った。

①大型梁供試体：供試体サイズは長さ120cm、高さ30cm、奥行き20cmとした曲げせん断スパン比1.17のものと、長さ170cm、高さ30cm、奥行き20cmの曲げせん断スパン比2.0の2種類である。2点荷重とし、試験は全部で9ケース行った。

②中型梁供試体：供試体サイズは長さ40cm、高さ10cm、奥行き10cmとした曲げせん断スパン比1.0である。3等分点荷重方式とし、試験は全部で12ケース行った。

③小型梁供試体：供試体サイズは長さ16cm、高さ4cm奥行き4cmとした曲げせん断スパン比1.25である。荷重方法はミハエリス二重てこ型曲げ試験機を使用した。単調中央点荷重にて、試験は全部で53ケース行った。

①で、曲げせん断スパン比の影響、①、②、③で寸法効果の影響を確かめることを目的とした。

試験に用いた供試体は表1の配合設計に基づいて作製した。気泡モルタルは固化材と粘土、水を

混ぜ合わせスラリー状にしたものに気泡発生装置で発泡させた動物性蛋白系の気泡を混入するプレフォーム方式で作製した。型枠に打設後、所定の強度が発現するまで気中養生を行った。

表1 供試体配合 (1m³当り)

設計強度 (kPa)	固化材 (kg)	粘土 (kg)	混練水 (kg)	空気量 (%)
500	180.0	180.0	297.0	57.8
1000	210.0	210.0	329.0	52.3
1500	240.0	240.0	345.0	48.7

2-2 試験方法

図1に大型梁供試体の荷重装置、図2に曲げせん断スパン比1.17の供試体概要図を示す。型枠脱型後、所定の寸法にメッシュを書いた供試体表面にひずみゲージを貼布し、供試体の変位を計測するため供試体上部中央に2箇所、同様に下部中央、左右に2箇所ずつレーザー変位計を設置した。本試験では図1に示すように反力フレームにベロフラムシリンダーを据え付け、ロードセルを介して荷重を与えた。荷重方法は単調2点荷重の荷重制御で荷重速度を約2N/secとした。

本試験では、ロードセル、レーザー変位計、ひずみゲージから得られたデータを静ひずみ測定器にて測定し、1秒間隔でパソコンに自動記録させる方法で行った。0.5kN毎に荷重を中断し、供試体の状態を観察した。

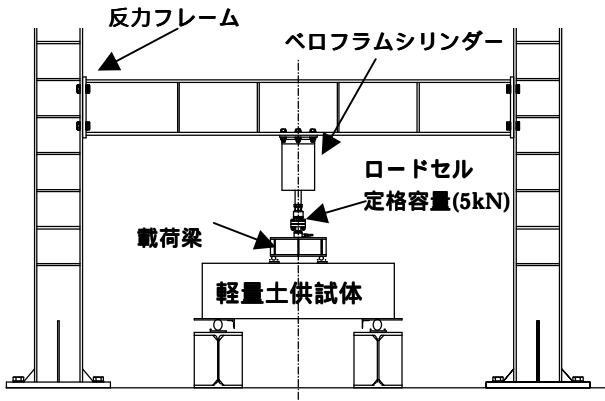


図1 载荷装置概要図

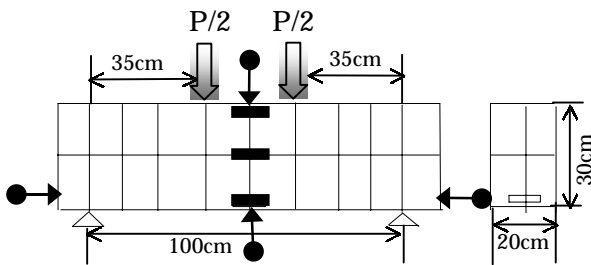
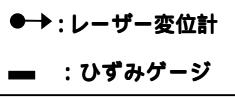


図2 供試体概要図



2-3 試験結果

2-3-1. 大型梁供試体試験結果

図3に曲げせん断スパン比が1.17であるケース1~6の荷重と垂直変位の関係を示す。各ケースとともに荷重が増加するに伴い変位が増加し、弾性変形していることが分かる。荷重の増加に伴い、供試体中央下端よりクラックが発生し、いっしょに上部に至る曲げ破壊を確認できた。破壊時の垂直変位は0.24~0.48mmと極わずかなものであった。

図4に曲げせん断スパン比が2.0であるケース7~9の荷重と垂直変位の関係を示す。ケース1~6と同様に各ケースとも荷重が増加するのに伴い変位が増加した。曲げせん断スパン比が1.17から2.0になると最大荷重がおよそ1/2に減少した。

図5にケース1~9を代表して、ケース9の供試体表面に発生したひずみを示す。なお図中に示す×印は供試体の破壊点を示す。

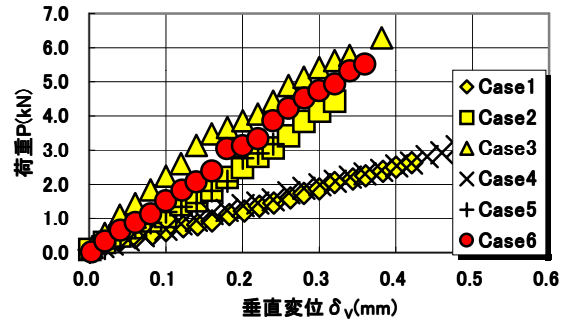


図3 荷重-変位関係(ケース1~6)

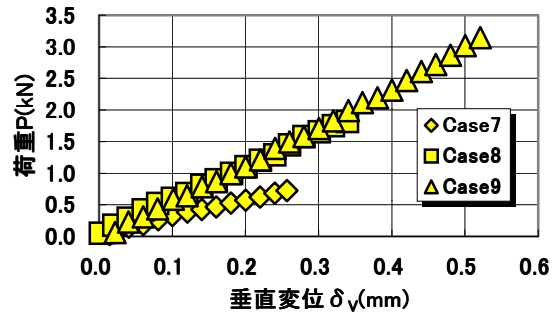


図4 荷重-変位関係(ケース7~9)

この図から荷重増加に伴って各ひずみ(上端・中央・下端)が線形的に増加し破壊に至ったことが分かる。また、ひずみゲージで得た値より逆算して変形係数を求めた。その結果 $E=1.5 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ が得られた。その値を単純はりの最大たわみを求める式に代入したところ、0.3mmという結果を得た。実測値は図4より0.52mmであり、近い値を得ることができたので、ひずみゲージより得た値が概ね合っているといえる。

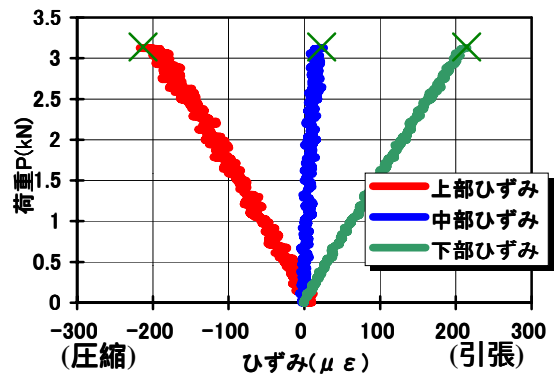


図5 荷重-ひずみ関係(ケース9)

表 2 実測値と理論値の比較

Case	最大荷重 P _{max} (kN)	曲げ強さ b(kPa)	実測値 v (mm)	理論値 vt (mm)
1	2.73	184	0.51	0.38
2	4.51	289	0.40	0.36
3	6.34	392	0.41	0.45
4	3.24	213	0.55	0.30
5	3.46	228	0.19	0.30
6	5.56	346	0.36	0.40
7	0.67	125	0.27	0.09
8	1.83	221	0.35	0.37
9	3.07	324	0.54	0.38

同様に全てのケースについて調べたものを表 2 に示す。

表 3 にケース 1~9 の全断面有効と仮定して算定した曲げ強さおよび圧縮強さで正規化した強度比を示す。また、図 6 に曲げせん断スパン比 1.17 と 2.0 の圧縮強さと曲げ強さの関係を示す。本試験結果から、圧縮強さが増加する程曲げ強さが増加し、曲げ強さ b と圧縮強さ q_u の関係は、曲げせん断スパン比 1.17 では、 $b=0.17q_u+92$ (1/2.2 ~ 1/4.0 程度)であることが分かった。また、曲げせん断スパン比 2.0 では、曲げ強さ b と圧縮強さ q_u の関係は、 $b=0.25q_u-39$ (1/3.1 ~ 1/3.7 程度)であった。今回の試験の範囲では両者に有意差は認められなかったと考えられる。

表 3 試験結果一覧

Case	圧縮強さ q _u (kPa)	最大荷重 P _{max} (kN)	曲げ強さ b(kPa)	強度比 b/q _u
1	401	2.73	184	0.46
2	1049	4.51	289	0.28
3	1186	6.34	392	0.33
4	433	3.24	213	0.49
5	662	3.46	228	0.34
6	1409	5.56	346	0.25
7	433	0.67	125	0.29
8	694	1.83	221	0.32
9	1213	3.07	324	0.27

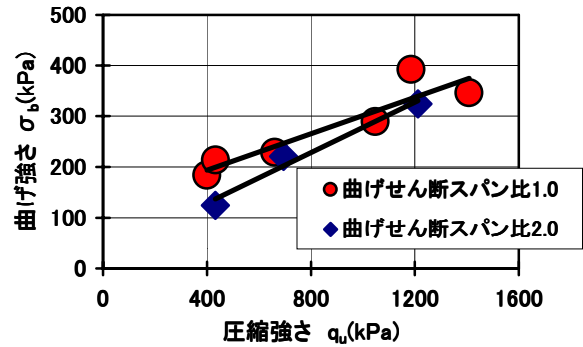


図 6 曲げ強さに与える曲げせん断スパン比の影響

4-2. 中型梁供試体試験結果

表 4 に試験結果一覧を示す。一覧に示す結果は実験値の平均である。図 7 に中型梁供試体の圧縮強さと曲げ強さの結果の関係を示す。圧縮強さが増加すると曲げ強さが増加し、曲げ強さと圧縮強さの関係は $b=0.17q_u+216$ (1/1.6 ~ 1/3.0 程度)である。

表 4 中型梁供試体試験結果一覧

	圧縮強さ q _u (kPa)	最大荷重 P _{max} (kN)	曲げ強さ ¹⁾ b(kPa)	強度比 b/q _u
500kPa	506	1.09	326	0.64
1000kPa	1052	1.40	421	0.40
1500kPa	1595	1.75	526	0.33

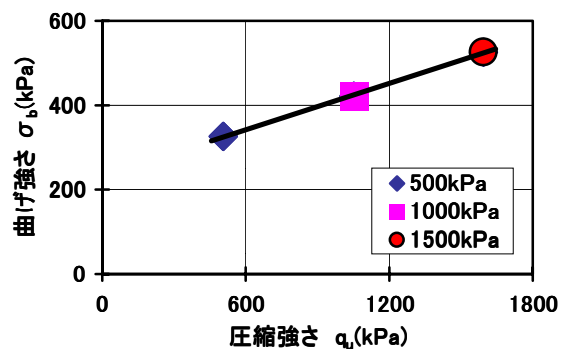


図 7 圧縮強さと曲げ強さの関係

2-3-3 小型梁供試体試験結果

破壊時の小型梁供試体の圧縮強さと曲げ強さの関係を図 8 に示す。圧縮強さが増加すると曲げ強さが増加し、曲げ強さと圧縮強さの関係は $b=0.05q_u+47$ (1/6.5 ~ 1/13.0 程度)であった。

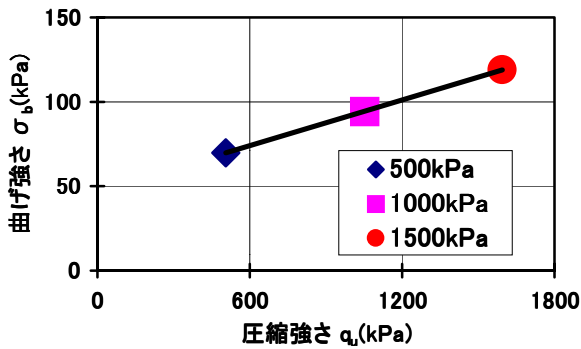


図8 圧縮強さと曲げ強さの関係

2-4 曲げ試験のまとめ

供試体断面寸法の違いによる曲げ強さの影響を調べるために、横軸に正方形断面に換算した値の平方根をとったもの、縦軸に曲げ強さをとったものの関係を図9に示す。図より、小型梁供試体の曲げ強さがもっとも低い結果となった。寸法効果の観点より、断面の一番小さい小型梁供試体の曲げ強さが最も卓越することが予想されたが、今回の結果では定説と反する結果となった。

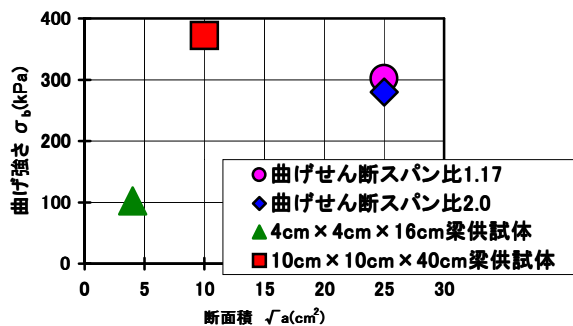


図9 断面積－曲げ強さの関係

3. 純引張試験

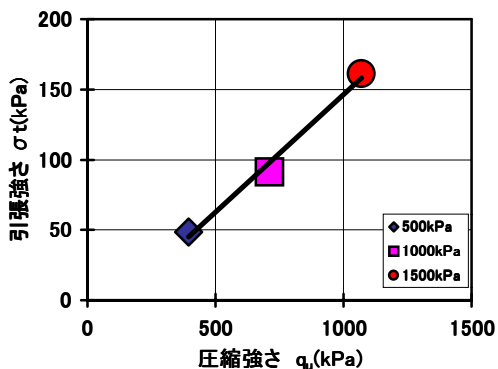


図10 圧縮強さ－引張強さの関係

これまでに曲げせん断スパン比、断面寸法を変化させたケースについて試験を行い圧縮強さと曲げ強さの関係を検証してきた。しかし、軽量土を対象としてきた研究の中で曲げ強さと同様に重要な引張強さに対しても、いまだ研究された事例が少ない。圧縮強さ、曲げ強さ、引張り強さの関連性を検討するため純引張試験を行い、引張強度を求めた。本試験では供試体を43体作成し、各配合とも材齢7.14.21.28日における引張強さを求めた。その結果、引張強さの平均と圧縮強さの関係を示したものを図10に示す。圧縮強さが増加すると、曲げ強さ同様に引張り強さも増加傾向を示し、圧縮強さと引張り強さの間には、1/5～1/13という結果になった。また、これまでに得られた圧縮強さ～曲げ強さ、および純引張試験の圧縮強さ～引張り強さの関係から圧縮強さを基準とし、曲げ強さと引張り強さについてまとめたものを図11に示す。この結果より引張強さ σ_t は大型梁供試体の曲げ強さ σ_b の1/1.7～1/2.2程度であった。

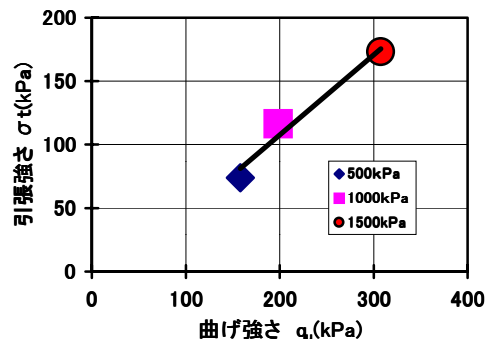


図11 曲げ強さ－引張強さの関係

4. まとめ

圧縮強さが増加すると、曲げ強さ、引張強さも増加することを確認した。

曲げせん断スパン比、断面寸法の変化が曲げ強さに与える影響を確認できた。

各試験条件ごとの圧縮強さと曲げ強さの関係を表す近似式を得た。

圧縮強さ～曲げ強さ、圧縮強さ～引張強さの関係より、引張強さ σ_t は曲げ強さ σ_b の1/2程度であった。