

(2) 軽量コンクリート合成床版の 開発に関する研究

ON THE DEVELOPMENT OF PRECAST COMPOSITE SLABS WITH
LIGHT WEIGHT AGGREGATE CONCRETE

浜田 純夫*・兼行 啓治**・米田 俊一***

Sumio HAMADA, Keiji KANEYUKI, shun-ichi YONEDA

Precast composite slabs have been remarkably developed in recent years. The trussed shear connector transfer rationally shear forces between the steel plate and concrete to axial forces. Buckling of trussed members are also sufficiently prevented by surrounding concrete. Most precast slabs are simply supported, and lighter weight and higher strength are required. From these reasons light weight aggregate with lower absorption is herein used for the precast slab. Concrete with such aggregate improve the quality at the fresh and hardened ages. Sixteen composite slabs with trussed shear connectors including six normal weight and ten light weight concrete slabs were tested. From test results slabs with light weight aggregate concrete have slightly lower strength. This may be resulted from the lower tensile strength of lightweight aggregate concrete which has the same compressive strength as normal concrete. Evaluation of shear strength is also determined for the design purpose.

1. まえがき

最近極めて多くの合成床版が開発されている。¹⁾鋼構造物設計指針 PART B²⁾ではこれらの合成床版を2種類に分け、鋼板を力学的に負担させない被覆型合成版と鋼板を力学的に配慮する鋼製型枠合成版に分類している。合成版の中でも最もネックになるのはずれ止めであり、このずれ止めのタイプそのもので鋼製型枠合成版の名称が付されている。最も単純なずれ止めはスタッドジベルだけでもたせるロビンソン型のものであるが、ジベルでせん断を受け持たせる場合の完全性に対する保障が十分ではない。一方、形鋼を溶接した鋼板は溶接箇所が多いことなど完全なずれ止めを期待するには複雑になることが多い。

このため力学的に最も合理的と考えられるトラス型ジベルは製作上の難点はあるものの、完全な合成が期待でき、今後有望なジベルの一つと考えられる。一方、本研究で用いる軽量コンクリートは石炭灰系のもので、低吸水性のものである。軽量コンクリートは最近必ずしも多く使用されていないが、土木構造物においては軽量コンクリートは床版に用いるのが最も有利と考えられる。軽量コンクリートは材料費そのものの増加はあるものの、製品とすれば必ずしも大きい差は生じない。

本研究においては最近開発された低吸水性の石炭灰系軽量骨材の品質を調べるために、スランブのばらつきと強度のばらつきを普通コンクリートと比較した実験と、トラス型ジベルに軽量コンクリートを用いた場

* : Ph.D.、山口大学教授 工学部土木工学科

** : 山口大学技官 工学部土木工学科

*** : 宇部興産(株) セメント事業本部技術センター

合の研究を行った。特に、軽量コンクリートは同程度の圧縮強度をもつ普通コンクリートに比べ引張りにいくらか弱く、せん断力にも弱い。このため、本研究ではせん断破壊を生ずるはりを中心に実験供試体を作成した。

2. 軽量コンクリートの品質実験

2. 1 概説

一般に軽量骨材を用いたコンクリート、特にフレッシュコンクリートは種々の性質にばらつきが大きい。これは普通骨材に比較して吸水率が大きいことによるものである。そこで本研究においてはあらかじめ骨材の吸水率のみならず、フレッシュコンクリートの品質の一例としてスラブのばらつきと硬化コンクリートの強度のばらつきを調べ、本実験に用いた軽量コンクリートの品質の程度を判定した。

2. 2 実験結果および考察

(1) 骨材

本研究においては軽量コンクリートと比較のため普通コンクリートを用いた合成床版についても実験を行ったため、

表 - 1 骨材試験結果

骨材の種類	表乾比重	24時間吸水率 (%)	実積率 (%)	粗粒率 (%)	単位容積重量 (kg/m ³)
石炭灰系軽骨	1.34	1.50	64	6.42	848
碎石 (2005)	2.70	0.62	65	6.25	1650

軽量骨材と合わせて普通の碎石の物理試験結果を表 -

1 に示す。試験の結果軽量骨材の比重は碎石の約1/2である。また、粗粒率は6.37で碎石に比較するとおよそ1.0低い。これは最大骨材寸法が小さく、15mmとしているためでもある。

吸水率は1.5%であるが、造粒形骨材としてもかなり小さい吸水率である。この低吸水率は品質に安定性をもたらす重要な要因の一つである。

(2) フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの特性を最もよく示すのはスラブ試験であろう。また、コンクリートの品質を知るためにはそのばらつきをみる必要がある。表 - 2 に単位水量190~210kg/m³のコンクリートに対するスラブのばらつきを示すが、硬練りの方が変動係数が大きくなっている。また、試験室における実験においてもスラブの標準偏差は1cm程度であった。

表 - 2 スラブのばらつき試験

骨材	単位水量 (kg/m ³)	スラブの平均 (cm)	標準偏差 (cm)	変動係数 (%)
軽骨	190	4.77	0.814	17.1
	200	14.49	0.920	6.4
	210	21.89	0.920	4.2
碎石	190	7.13	1.039	4.6
	200	11.50	0.933	8.1
	210	15.94	0.806	5.1

(3) 硬化コンクリート

セメント水比と圧縮強度の関係を図 - 1 に示す。この図中実線は普通コンクリートに対するセメント技術協会の実験公式である。軽量コンクリートと云えども、高強度が発現されることがわかる。図 - 2 に割裂試験による引張強度および曲げ強度と圧縮強度の関係を示す。この図からわかる様に、引張強度は圧縮強度の約1/16であり、曲げ強度も圧縮強度の1/7である。この値は普通コンクリートに比較して10~20%程度低い。³⁾

硬化コンクリートの品質を調べるために、表 - 3 に示される様に圧縮強度のばらつきを調べた。変動係数は水セメント比が小さい程小さいが、標準偏差そのものは差が小さい。これらの結果からこの軽量骨材の品質はかなり安定していることがわかる。

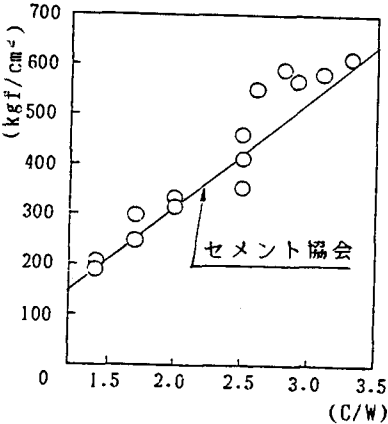


図 - 1 セメント水比 ~ 圧縮強度

表-3 圧縮強度のばらつき試験

種類	W/C (%)	材令 (日)	平均強度 (kg/cm ²)	標準偏差 (kg/cm ²)	変動係数 (%)
軽骨	74	3	80.4	4.4	5.5
		7	171.4	10.7	6.3
		28	275.2	15.9	5.8
	58	3	113.3	4.5	4.0
		7	219.1	8.3	3.8
		28	358.8	12.0	3.3
	41	3	256.6	10.8	4.2
		7	413.8	9.9	2.4
		28	517.5	12.6	2.4
碎石	75	3	120.0	5.5	4.8
		7	196.9	8.4	4.2
		28	280.0	11.0	3.9
	52	3	189.0	7.7	3.9
		7	280.5	16.5	5.8
		28	377.5	28.0	7.4
	40	3	330.3	10.0	3.0
		7	438.8	13.3	3.0
		28	549.0	30.2	5.5

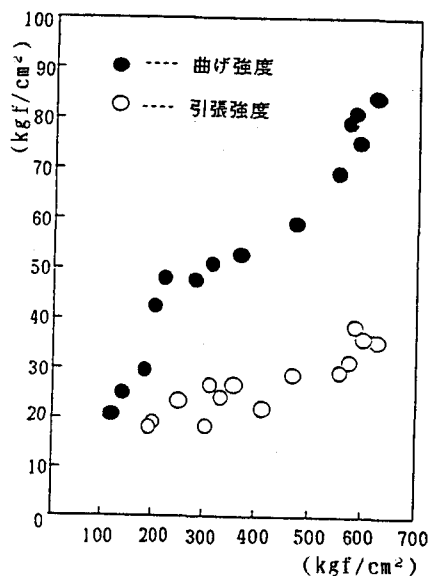


図-2 曲げ、引張強度～圧縮強度

3. トラス型ジベル付プレキャスト合成版の実験

3.1 概説

合成版の最大の問題は鋼板とコンクリートの接合方法にある。接合法として極めて合理的なのはトラス型ジベルと考えられる。せん断力をせん断力のまま伝達せず、軸力に変換する所に大きい特色がある。しかし、コンクリート中の鉄筋とは異なり、鋼板とコンクリートの付着による接合は十分期待できるものではない。したがって、この様な合成床版のずれ止めが剛性および耐力にどの様に影響されるか興味あるところである。なお、トラス型ジベル合成床版のせん断耐力に関する研究は少ない。⁴⁾

3.2 実験供試体

ずれ止めの効果を知るためには、スパンは短い程、ずれ止め作用するせん断力は大きくなる。従って本研究においては、主としてせん断破壊が生ずると考えられる供試体を中心に実験を行なった。供試体の一例を図-3に示す。ジベルとして用いるトラス材の補強を考えて図-3に示される様に供試体15および16は水平に補強用の鉄筋を配置した。なお、スターラップは有効に作用するとは考えられないので、ここでは用いなかった。

コンクリート材料は軽量コンクリートの他に普通コンクリートも用いた。この供試体に用いたコンクリート強度は表-4に示す様に、

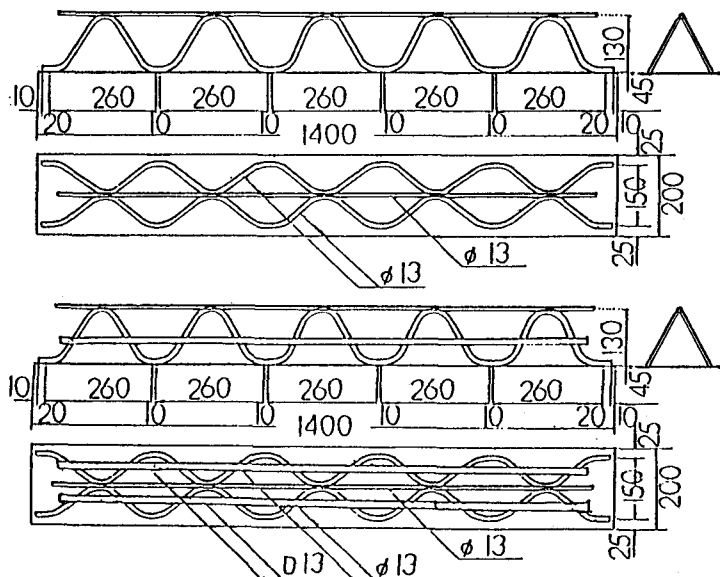


図-3 供試体の一例 (No.13～No.16)

表-4 コンクリート強度

種類	圧縮強度 (kg/cm^2)	引張強度 (kg/cm^2)	曲げ強度 (kg/cm^2)	ヤング係数 ($\times 10^5 \text{kg}/\text{cm}^2$)	ポアソン比
軽量	350.2	26.3	25.1	2.04	0.21
普通	345.6	30.3	33.7	3.41	0.21

350 kg/cm^2 程度であった。また、鋼材は版としてSS41、トラス材および補強材としてSD30を用いた。表-5は各供試体について、スパン、トラスの傾斜角、トラス材鉄筋径などを示したものである。

3.3 載荷および測定

供試体への載荷位置はスパン中央とし、15 cm 間隔をあけて2点載荷とした。また、供試体13~16は曲げモーメントを大きくするために中央1点載荷とした。荷重は静的に0.5 ton づつ上昇させた。

測定はスパン中央たわみ、スパン中央の鋼板およびコンクリートのひずみ、支点付近のトラスジベルの応力および、鋼板とコンクリートのずれを測定した。これらの位置について図-4に示す。

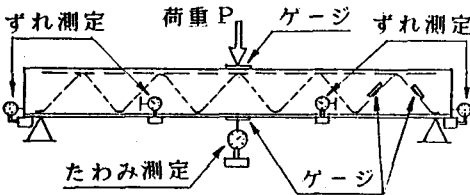


図-4 測定位置概略図

3.4 荷重-たわみ関係

図-5に5つの供試体について荷重-たわみ図を示す。それと同時に弾性理論値を示す。No.1,4,7,および10は剛性低下が明確でせん断ひびわれの増加をよく示している。No.13は鋼板の降伏により剛性が低下し、鉄筋コンクリートの荷重-たわみ曲線によく似ている。

実験値と理論値の差は大きく、せん断たわみ、せん断ひびわれに伴うたわみの増加、鋼板とコンクリートのずれ点で接合されていることによる不連続性などが原因として考えられる。

3.5 曲げモーメント-ひずみ関係

図-6に曲げモーメントとスパン中央における鋼板、およびコンクリート上縁のひずみの関係を示す。No.13の供試体は桁高が小さく、他の供試体と比較して弾性域においても剛性が小さい。No.1,4,7,10はいづれ

表-5 実験供試体

No	床版厚 (cm)	スパン (m)	斜材 本数	種類	トラス 鉄筋径 (mm)
1	20	0.8	2	軽量	9
2	20	0.8	2	軽量	9
3	20	0.8	2	普通	9
4	20	0.8	3	軽量	9
5	20	0.8	3	軽量	9
6	20	0.8	3	普通	9
7	20	1.2	3	軽量	9
8	20	1.2	3	軽量	9
9	20	1.2	3	普通	9
10	20	1.2	4	軽量	9
11	20	1.2	4	軽量	9
12	20	1.2	4	普通	9
13	15.8	1.3	5	軽量	13
14	15.8	1.3	5	普通	13
15	15.8	1.3	5	軽量	13
16	15.8	1.3	5	普通	13

* No.15、No.16 には補強鉄筋 (D13) を使用。

* 斜材本数はスパン中央から支点までの数とする。

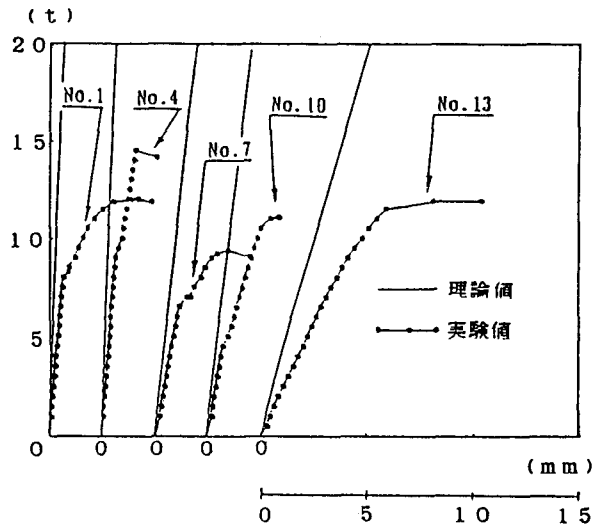


図-5 荷重-たわみ関係図

もほぼ同じ剛性を示している。これらの梁において鋼板が降伏しているのはNo.13だけである。また、No.13はコンクリートのひずみも大きく、曲げ破壊と考えることができる。

3. 6 荷重～ずれ関係
荷重とずれ関係を図-7に示す。No.13は荷重が小さくてもずれが生じており、これが図-5に示す荷重とたわみの関係にも影響していると考えられる。他は荷重が大きくなるまでほとんどずれが生じていない。

いずれの桁においてもずれが生じはじめる とたわみが大きくなる。

3. 7 トラス鉄筋のひずみ

図-8に荷重とトラス鉄筋のひずみの関係を示す。この鉄筋のひずみは斜めひびわれの発生と同時に大きくなる。一担ひびわれが生ずると鉄筋のひずみは急に大きくなり、降伏に達する。No.13の急激なひずみ増加は破壊直前に生じている。このひずみ増加はずれと極めて密接な関係を有していることもわかる。

3. 8 クラックパターン

図-9にクラックパターンを示す。No.1, および4は曲げひびわれとほぼ同時にせん断ひびわれが生じ、せん断ひびわれが先行して破壊に至っている。No.7は曲げひびわれが最初4.5ton程度で生じ、7tonの載荷時にせん断ひびわれが発生した。その後せん断ひびわれが進展して破壊したNo.10もほぼ同じ

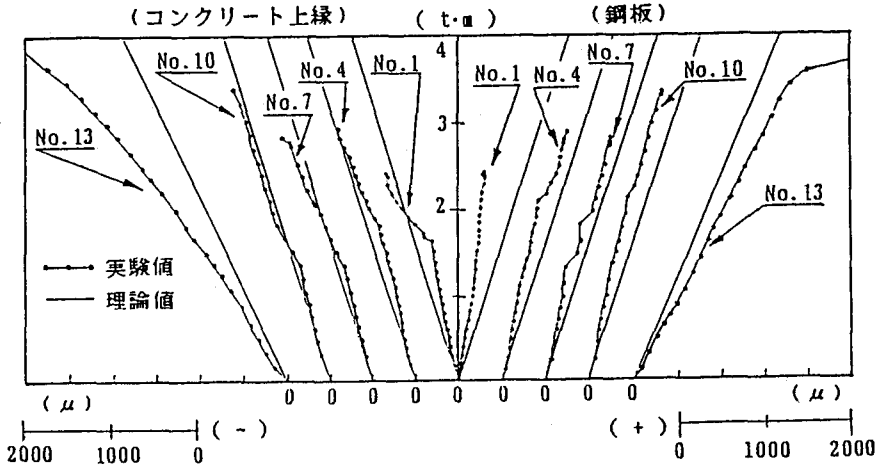


図-6 モーメント～ひずみ関係図

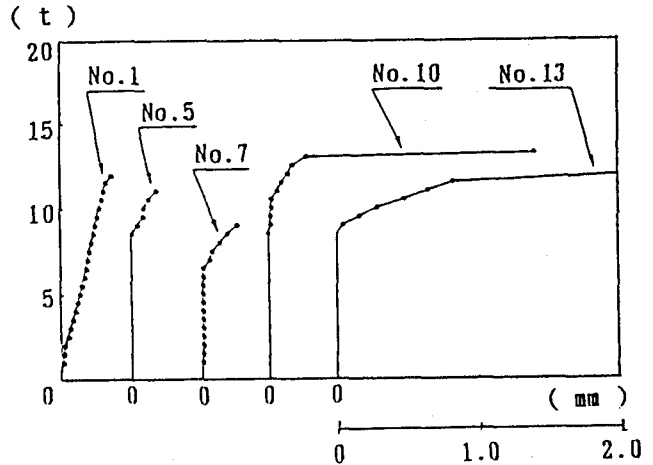


図-7 荷重～ずれ関係図

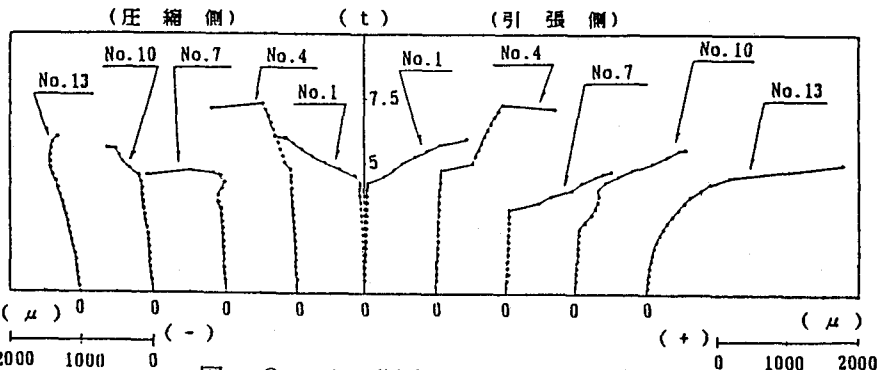


図-8 せん断力～斜材ひずみ関係図

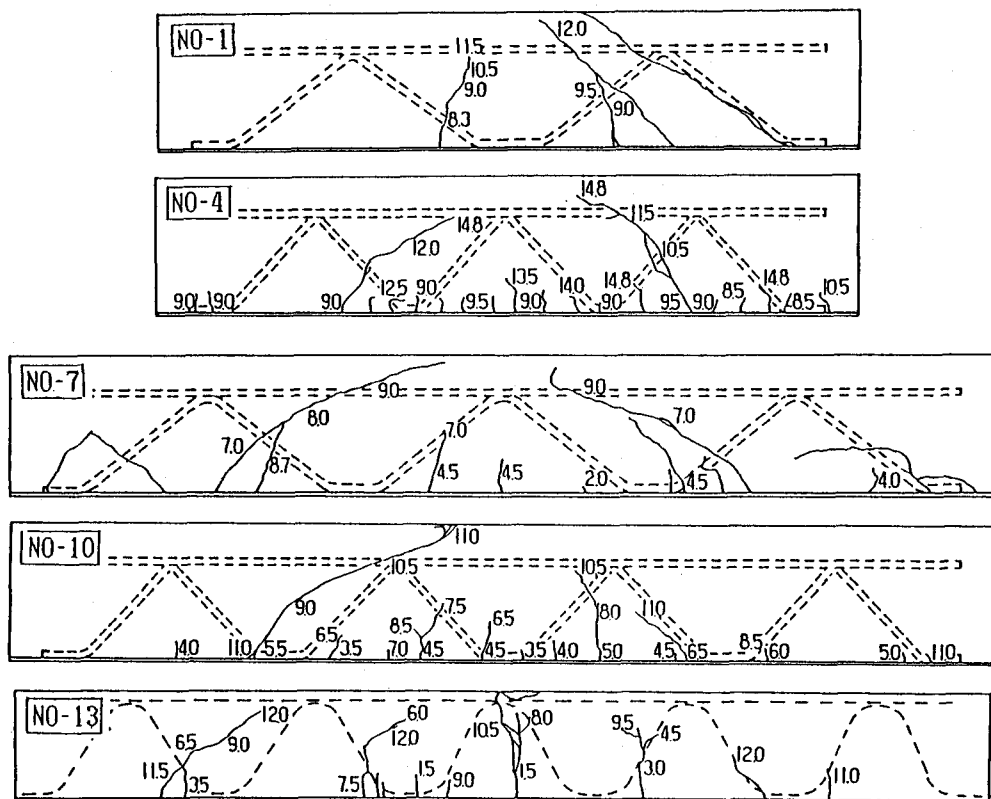


図-9 クラックパターン

傾向を示している。No.14は曲げひびわれが先行し、あとでせん断ひびわれが追従している。最終的には曲げとせん断の合成の様なひびわれとなった。

本実験で用いた供試体ではNo.13～16が曲げ破壊を生じたものの、せん断力による影響も大きい。これは普通コンクリート合成ばかりも同じ傾向を示した。

3. 9 終局耐力

トラス型合成床版は理論的には鉄筋コンクリートと同じ耐力を有することになる。しかし、鉄筋が十分付着している鉄筋コンクリートとトラス型ジベルだけで接合しているスラブとでは耐力に差が生ずることが予想される。

耐力は曲げおよびせん断力により求まるが、コンクリート標準示方書⁵⁾に基づけば曲げに対する耐力 M_u は

$$M_u = A_s \cdot f_y \cdot (d - 0.4x)$$

で与えられる。ここで、 A_s は鋼板断面積、 f_y は鋼板降伏強度、 d は上フランジから鋼板までの距離、 x は幅を b 、コンクリート強度 f_{cd} として、 $A_s f_y / 0.68 f_{cd} \cdot b$ で与えられる。また、同示方書に基づくせん断耐力 V_u は

$$V_u = f_{vc} \cdot b \cdot d + A_w \cdot f_{wy} \cdot z (\sin \alpha + \cos \alpha) / s$$

で与えられる。ここで、 f_{vc} はコンクリートのせん断強度で桁高、鉄筋量およびコンクリート圧縮強度から求められる。したがって、鋼板の断面積はこの f_{vc} に含まれることになる。また、第2項は補強筋の強さであり、 A_w 、 f_{wy} はそれぞれトラスジベルの径および降伏荷重である。 z は圧縮応力の合力の位置から鋼板までの距離であり、 s はトラス斜材間隔である。

表-6に実験結果とコンクリート標準示方書から得られる計算結果を示す。供試体No.1~12はいずれもせん断破壊を生じた。実験結果と計算結果を比較すると、計算値の方が理論値より大きく表われている。トラス型ジベル合成はりには必ずしも示方書の式は適用できないことが判明した。これは鋼板がコンクリートと完全に一体化していないことによるものと考えられる。従って従来せん断力の設計法として応力計算が行なわれてきた様にせん断補強筋のみで抵抗させる方法の方が妥当の様に考えられる。

No.13~16は曲げ破壊を生じた。計算結果からも曲げ破壊では荷重の方がせん断破壊荷重の方が小さい。この結果では計算値の妥当性はみられるものの、破壊そのものは曲げが先行したものの最終的にはせん断破壊に近いクラックパターンを示した。

4. 結論

本研究においては低吸水性石灰系軽量骨材の品質とそれをトラス型合成床版に適用した場合、普通コンクリートと比較して力学的に欠点が生じるかどうかを検討したものである。その結果次の様な結論が得られた。

- 1) 本研究に用いた軽量骨材は低吸水性のため、フレッシュコンクリートの性質を代表するスランプのばらつきは普通コンクリートと同等と考えられる。
- 2) 本軽量骨材を用いたコンクリートの圧縮強度は普通コンクリートと同程度となるが、割裂引張、曲げ引張ともに10~20%程度低くなる。
- 3) この骨材を用いて合成スラブでせん断耐力を中心とした曲げ試験を行ったが、普通コンクリートに比較して約10%程度耐力低下がみられた。これは軽量コンクリートが曲げ強度および引張強度に若干劣ることによるものである。
- 4) 引張強度に若干の弱点はあるものの普通コンクリート床版と同様に十分適用可能と考えられる。

【参考文献】

- 1) 土木学会、「鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン」 土木学会 1989年3月
- 2) 土木学会、「鋼構造物設計指針 PART B」 土木学会 1987年11月
- 3) 岡田、六車編集「コンクリート工学ハンドブック」 朝倉書店
- 4) 今井、中沢、大田、南「立体トラス型ジベルを有する鋼・コンクリート合成はりのせん断特性」 コンクリート年次学術論文集第11巻2号 1989年7月
- 5) 土木学会「コンクリート標準示方書：設計編」 土木学会 1986年10月

表-6 破壊荷重及び計算値

No	実験値			計算値		
	荷重 (t)	せん断力 (t)	モーメント (t・m)	せん断耐力 (t)	曲げ耐力	
					せん断力 (t)	モーメント (t・m)
1	12.0	6.0	1.95	7.21	12.0	3.90
2	10.3	5.2	1.67	7.21	12.0	3.90
3	13.9	7.0	2.26	7.21	12.0	3.90
4	14.9	7.5	2.42	8.81	12.0	3.90
5	13.2	6.6	2.15	8.81	12.0	3.90
6	15.1	7.6	2.45	8.81	12.0	3.90
7	9.4	4.7	2.47	7.19	7.4	3.90
8	9.6	4.8	2.52	7.19	7.4	3.90
9	10.7	5.4	2.81	7.19	7.4	3.90
10	11.1	5.6	2.91	8.29	7.4	3.90
11	11.3	5.7	2.97	8.29	7.4	3.90
12	12.4	6.2	3.26	8.29	7.4	3.90
13	11.9	6.0	3.87	11.85	4.6	3.02
14	12.8	6.4	4.16	11.85	4.6	3.02
15	13.4	6.7	4.36	12.10	5.4	3.50
16	16.2	8.1	5.27	12.10	5.4	3.50