

建築材料としての無機複合材料に関する研究

(その11・金属骨組強化・解析編)

正会員 岸 谷 孝 一*
正会員 平 居 孝 之**

1. 序

前報¹⁾では、石膏やセメントによる無機マトリックスを、鉄筋やアルミニウム筋による金属骨組で強化する方法について調べるため、表-1のはりを用いて行なった曲げ試験の結果を述べた。本報では、試験の結果を概報²⁾で述べたはりの曲げ荷重-変形の計算式によって求めた表-2と表-3に示す解析値と比較しながら検討し、石膏マトリックスの金属骨組強化とアルミニウム筋による金属骨組強化という点について考察を加える。

2. 模型はりシリーズ

模型はりシリーズは、付着破壊を調べるための予備的な試験であり、はりの引張筋を丸鋼・アルミニウム丸筋、異形棒鋼・アルミニウム異形筋の4種類に変えた場合の耐力をまとめると図-1になる。図中の記号bで示したように、丸鋼とアルミニウム丸筋を引張筋とするはりでは、いずれのマトリックスにおいても付着破壊が起こっている。模型はりの試験結果より、石膏ペーストまたは石膏軽量コンクリートマトリックスに丸鋼とアルミニウム丸筋を組み合わせたものは、金属骨組による補強の効果を期待出来ないといえる。セメントコンクリートマトリックスの場合は、アルミニウム丸筋との付着強度が少しはあり（前報¹⁾表-

表-1 はり詳細

	金属骨組	マトリックス
模型はり	S丸タイプ 引張筋 丸鋼 	石膏ペースト 石膏軽量コンクリート セメントペースト セメントコンクリート
	AL丸タイプ 引張筋 アルミニウム丸筋 	
	S異タイプ 引張筋 異形棒鋼 	
	AL異タイプ 引張筋 アルミニウム異形筋 	
	シリーズI 引張筋 アルミニウム丸筋 	
実大はり	シリーズII アルミニウム丸筋はり 	石膏ペースト 石膏軽量コンクリート セメントコンクリート セメント軽量コンクリート
	シリーズIII アルミニウム異形筋はり 	石膏ペースト 石膏軽量コンクリート セメントコンクリート

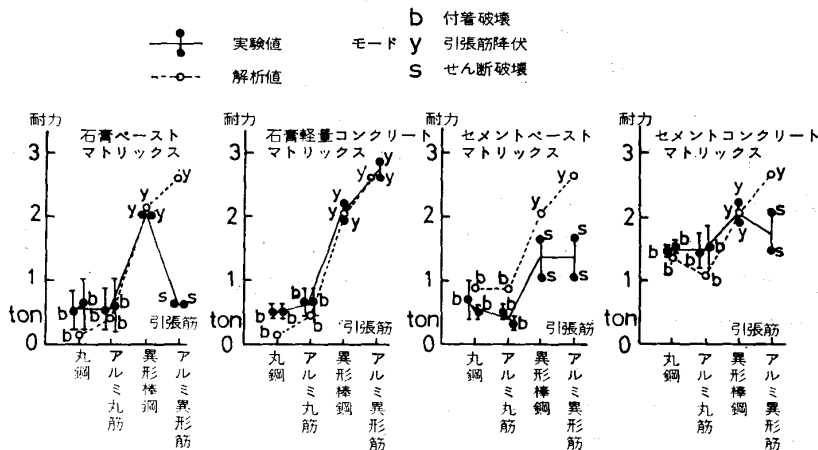


図-1 模型はりの耐力

* 東京大学 教授・工博

** 平居建築研究所・工博

(昭和52年11月1日日本稿受理・討論期限昭和53年12月末日)

表-2 模型はりの解析データ

材料性能のモデル化					
荷重-たわみの解析データ					
引張筋	丸鋼	アルミニウム丸筋	異形棒鋼	アルミニウム異形筋	
マトリックス	モード	荷重-たわみ	荷重-たわみ	荷重-たわみ	
石膏ペースト	Cr	278-0.12	289-0.12	282-0.12	269-0.12
	Y	1911-1.41	3270-2.35	2042-1.53	1828-1.51
	C	1992-4.08	3614-2.79	2122-4.00	2599-2.40
	Ms	1461	1547	1518	1518
	B	128	387	2203	4916
石膏軽量コンクリート	Cr	359-0.14	365-0.14	361-0.14	360-0.13
	Y	1921-1.35	3287-2.27	2053-1.47	1841-1.44
	C	1998-3.40	3399-2.41	2127-3.32	2618-2.31
	Ms	2089	2130	2130	2253
	B	170	465	3947	6320
セメント	Cr	250-0.10	257-0.10	251-0.10	241-0.10
	Y	1921-1.35	3288-2.26	2053-1.47	1838-1.46
	C	2007-3.98	3676-2.74	2137-3.88	2614-2.32
	Ms	1453	1510	1482	1482
	B	935	852	2616	3652
セメントコンクリート	Cr	250-0.10	324-0.10	325-0.10	320-0.10
	Y	1940-1.28	3263-1.71	2073-1.40	1858-1.38
	C1	1989-2.08	3299-2.17	2114-2.01	2395-1.94
	C	2018-5.55	4292-3.58	2146-5.41	2638-2.21
	Ms	2146	2105	2146	2187
B	1360	1085	4313	5337	

5), 効果がないと断言出来ないのので, この点については実大はりの所でふれる。

なお, 模型はりの試験では引張筋をはり端部へ突き出させ(前報¹⁾図-1), マトリックスと引張筋の相対すべりを測定することから, 付着破壊を検定しようと計画した。しかし, この方法でははりの変形が大きくなってからでないで相対すべりが記録されず, 相対すべりが生じることから付着破壊が起きていることを確認することは出来るが, 付着破壊が生じる荷重の判定には不適當であった。このため図-1 では, 荷重-たわみの関係より推定した付着破壊荷重を示したので, 付着破壊による耐力の測定値に大きな幅を持たせている。

また, 異形棒鋼とアルミニウム異形筋を引張筋に用いた模型はりは, すべて引張筋の降伏が起こった後破壊するように計画したが, スターラップの間隔が大きすぎたため図-1 の記号 s で示したはりは引張筋の降伏以前にマトリックスのせん断で破壊している。

3. 実大はりシリーズ

実大はりシリーズでは, 石膏によるマトリックスを異

形棒鋼骨組で強化する場合と, 石膏やセメントによる無機マトリックスをアルミニウム筋骨組で強化する場合の変形と耐力を中心に検討する。

3-1 マトリックスと補強筋の付着

補強筋の引抜きによる試験で, マトリックスと補強筋の付着を補強筋自由端すべり(無載荷端マトリックスに対する相対すべり)に対して発生する付着応力度で測定した結果は図-2 になる。セメントコンクリートに丸鋼の組み合わせを除いて, いずれのマトリックスに対しても表面の滑らかな丸鋼とアルミニウム丸筋では, きわめて小さな付着応力度しか発生していない。一方異形棒鋼とアルミニウム異形筋は, いずれのマトリックスに対しても図-3 のように圧縮強度の 10% 以上の付着強度が得られており, 補強筋として有効である。ただ石膏マトリックスの場合は, 異形棒鋼またはアルミニウム異形筋との相対すべりが小さい間は, 付着応力度の発生も小さいことが注目される。

3-2 付着破壊

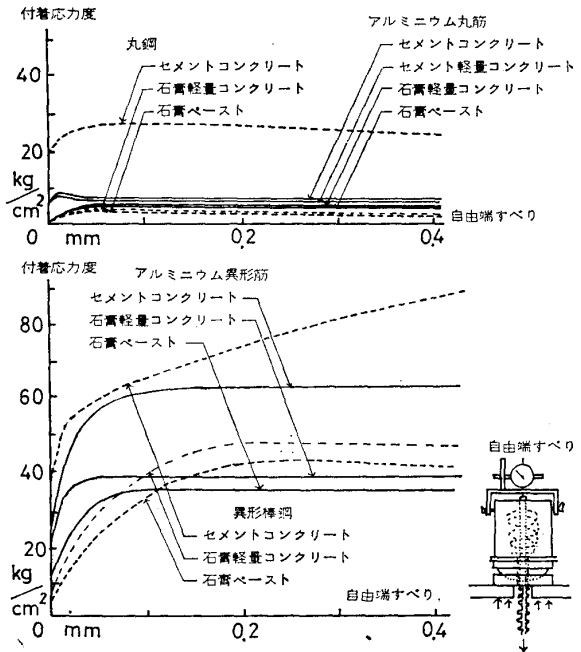


図-2 補強筋の引抜きによる付着応力度の発生

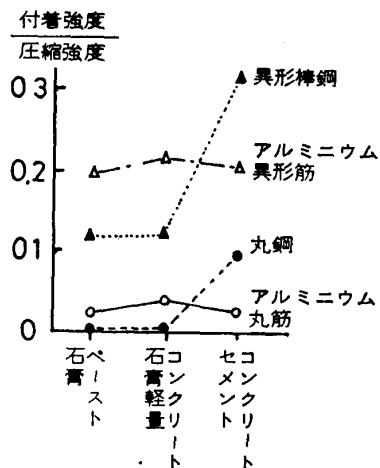


図-3 付着強度

表-3 実大はりの解析データ

材料性能のモデル化				
シリーズ I		シリーズ II		シリーズ III
荷重-たわみの解析データ				
マトリックス	石膏ペースト	石膏軽量コンクリート	セメントコンクリート	セメント軽量コンクリート
はり断面	モード	荷重-たわみ (kg mm)	荷重-たわみ (kg mm)	荷重-たわみ (kg mm)
シリーズ I 異形棒鋼 	Cra	532-0.15	825-0.25	
	Y	3517-2.23	3553-2.15	
	C1	—	3880-9.37	
	C	3899-12.48	3962-12.63	
	S	12800 —	16200 —	
	B	7164 —	7830 —	
シリーズ II アルミニウム丸筋 	Cra	675-0.19	534-0.19	1158-0.19
	Y1	4388-3.32	4302-3.48	4524-2.97
	S	16200 —	14300 —	22700 —
	B	1588 —	1708 —	2548 —
シリーズ III アルミニウム異形筋 	Cra	577-0.23	517-0.16	800-0.13
	Y1	3010-2.46	3060-2.29	3176-2.00
	C1	3132-2.59	4331-3.64	Y1 45.20-3.24
	Y2	4251-3.94	4360-3.67	C1 45.84-4.09
	C	4386-8.57	4433-5.28	4679-8.18
	S	11100 —	11000 —	17500 —
	B	17690 —	19100 —	19210 —
Cra マトリックスの引張クラック発生		C マトリックス圧縮側破壊		
Y 引張筋降伏		C1 マトリックス圧縮側降伏		
Y1 引張筋降伏1次		S セン断破壊		
Y2 引張筋降伏2次		B 付着破壊		

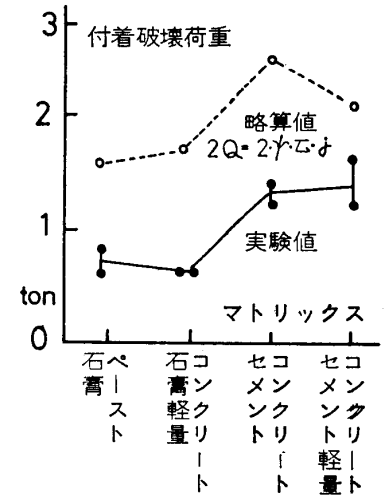


図-5 アルミニウム丸筋はりの付着破壊荷重

が低いと補強筋とマトリックスのすべりが大きくなり、付着破壊を起こして金属骨組とマトリックスが一体となって働らく前提からずれてくる。付着破壊を判断する場合、微視的に見るならばりの最大せん断力が作用する部分のマトリックスと補強筋がすべりはじめる時を付着破壊の始りと見なせるが、マトリックスと補強筋のすべりが大きくなっても図-2に示したように付着強度に近い付着応力が発生しているので、最終的な付着破壊は、はりの全域にわたってマトリックスと補強筋がすべりはじめる時期を取るのが適切であると考えられる。このため実大はりの試験では、付着破壊の生じる

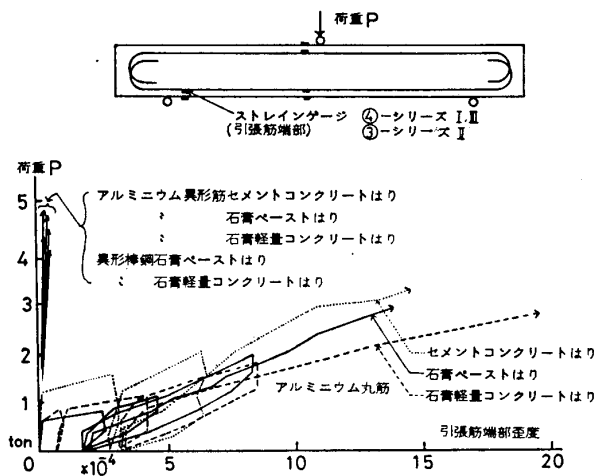


図-4 引張筋端部の歪度

金属骨組による補強では、補強筋とマトリックスが一体となって働らくことが前提になるが、両者の付着性能

荷重を引張筋の端部に付けたストレインゲージの歪度変化により評価した。このゲージは図-4のように、曲げモーメントが0である支点より6cm入った所に張り付けてあるので、荷重がかかると微小の引張歪を記録し、付着破壊時には急激に歪が大きくなる。測定結果は図-4になり、アルミニウム異形筋と異形棒鋼を用いたはりでは付着破壊を起こしていない。また繰り返し载荷を行ったので、除荷と再载荷の荷重-たわみ曲線を比較してみることから(前報¹⁾図7~10)、アルミニウム異形筋と異形棒鋼のはりでは付着破壊の生じていないことを確かめられる。

なお今回の試験のうち、付着破壊の生じたアルミニウム丸筋はりでは、図-5のように略算式 $Q = \tau \times \psi \times j$ で τ に付着強度を用いて算定した値に比べ、付着破壊荷重の実験値はかなり小さく出ており、アルミニウム合金の

加工性が良いことから、アルミニウム丸筋の径を細く断面積に対する付着面積の割合を大きくして金属骨組に用いることを考える場合など、付着耐力の検定に注意が必要である。

3-3 耐力

ここでは付着破壊の起こるアルミニウム丸筋はりを除いて、引張筋の降伏するアルミニウム異形筋はりとは異形棒鋼はりの耐力についてふれる。

アルミニウム異形筋の引張応力度-歪度の関係は、比例限度が降伏点に比べてかなり小さく(前報¹⁾図-6)、また降伏点も鉄筋のように明確な値を示さないのが、はりの荷重とたわみの関係は鉄筋のはりと異なり除々に直線関係からずれてくる。従ってアルミニウム異形筋が降伏する場合のはりの耐力をどこで評価するかが問題になる。アルミニウム異形筋 AD 27 を引張筋に用いた実大はりシリーズⅢでは、降伏点 2000 kg/cm² 降伏歪度 35 × 10⁻⁴ と定め、引張筋が降伏するときすなわち図-6 で②のゲージが 35 × 10⁻⁴ の歪度のときの荷重と、また荷重とたわみが直線関係から大きくずれはじめる荷重の2点から耐力を評価した。異形棒鋼を用いた実大はりシリーズⅠでは、引張筋の歪度が 20 × 10⁻⁴ になる荷重と、また荷重とたわみが直線関係からずれはじめる荷重を耐力の測定値とした。測定結果を解析値と略算値と共に示すと図-6 になり、実験結果はいずれのはりにおいても、引張筋比がつまり筋比より小さい場合に略算式

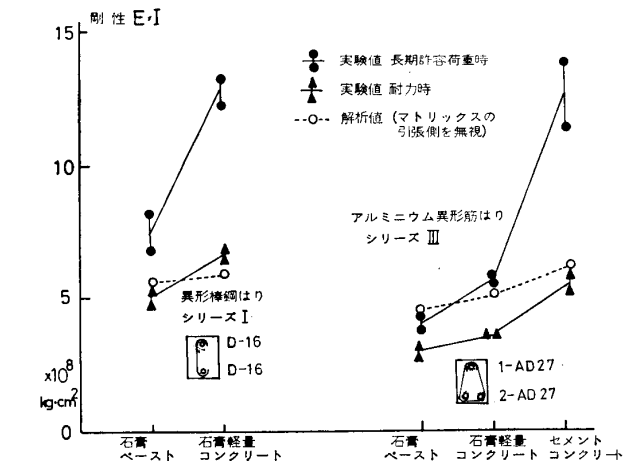


図-8 剛性

$M=7/8 \cdot j \times \sigma_y \times a_t$ で耐力を検定出来ることを示している。

3-4 引張クラック

引張クラックの発生荷重を、視録・引張側マトリックス表面のストレインゲージの示す歪度の変曲点・はりの荷重とたわみの関係の変曲点の3つのうち、最も小さい荷重で評価すると図-7 になる。異形棒鋼のはりとアルミニウム異形筋のはりでは、引張筋の耐力が 4000 × 1.8 = 7200 kg と 2000 × 2.25 × 2 = 9000 kg で、多少の差のあることを考慮しなければならないが、同じ耐力のはりでは引張クラックの発生に対して、異形棒鋼よりアルミニウム異形筋の骨組の方が不利、セメントマトリックスより石膏マトリックスの方が不利であることになる。

3-5 剛性

はりの耐力時と長期許容荷重時(長期許容応力度を異形棒鋼で 1600 kg/cm², アルミニウム異形筋で 800 kg/cm² と考え、長期許容荷重を前者によるはりで 1400 kg, 後者では 1800 kg とする)におけるたわみから、はりの全スパンにわたって同じと仮定して計算した剛性の実験値と、マトリックスの引張側を無視した断面の剛性の解析値を比較すると図-8 になる。長期許容荷重時の剛性は、アルミニウム異形筋石膏ペーストはりを除いて、マトリックスの引張側を無視した断面で計算してほぼ安全側になるという結果が出ている。耐力時の剛性の実験値は、断面の引張側を無視した解析値より小さい場合が

多く、特に石膏ペーストまたは石膏軽量コンクリートをマトリックスとするはりと、アルミニウム異形筋を金属骨組とするはりにおいて著しい。これは既報³⁾と同じ結果になっており、石膏の金属骨組強化における問題点の1つである。また、石膏ペーストマトリックスより石膏軽量コンクリートマトリックスのはりの方が剛性が大きく、既報^{3),4)}で述べたように、これはマトリックスを粒子強化す

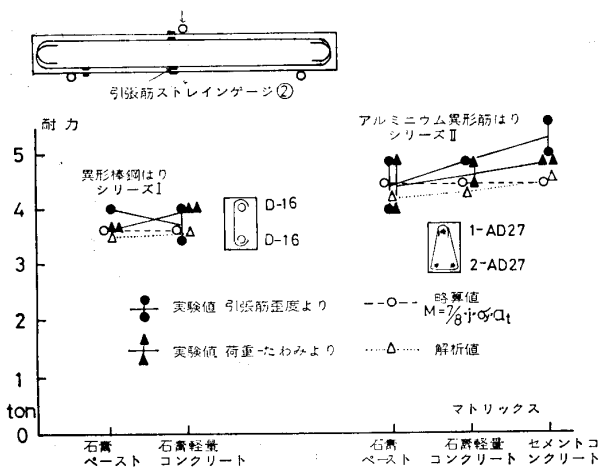


図-6 耐力

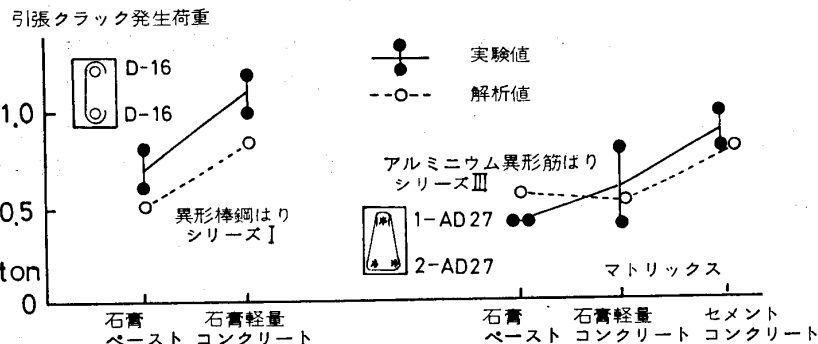


図-7 引張クラック発生荷重

ることによって剛性が改善されたからである。

また、はりの剛性の実験値が予期した値より小さく出ることが、補強筋とマトリックスの間に発生する付着応力度に対して、両者の相対すべりが大きくなる場合に起こっていることから、筆者は相対すべりに対する付着応力度の発生が小さいことが原因となっており、はりの剛性が小さく出るのはないかという考えをもっているが、この点については以後検討を予定している。

3-6 荷重-変形

十分な付着性能をもつ異形棒鋼とアルミニウム異形筋

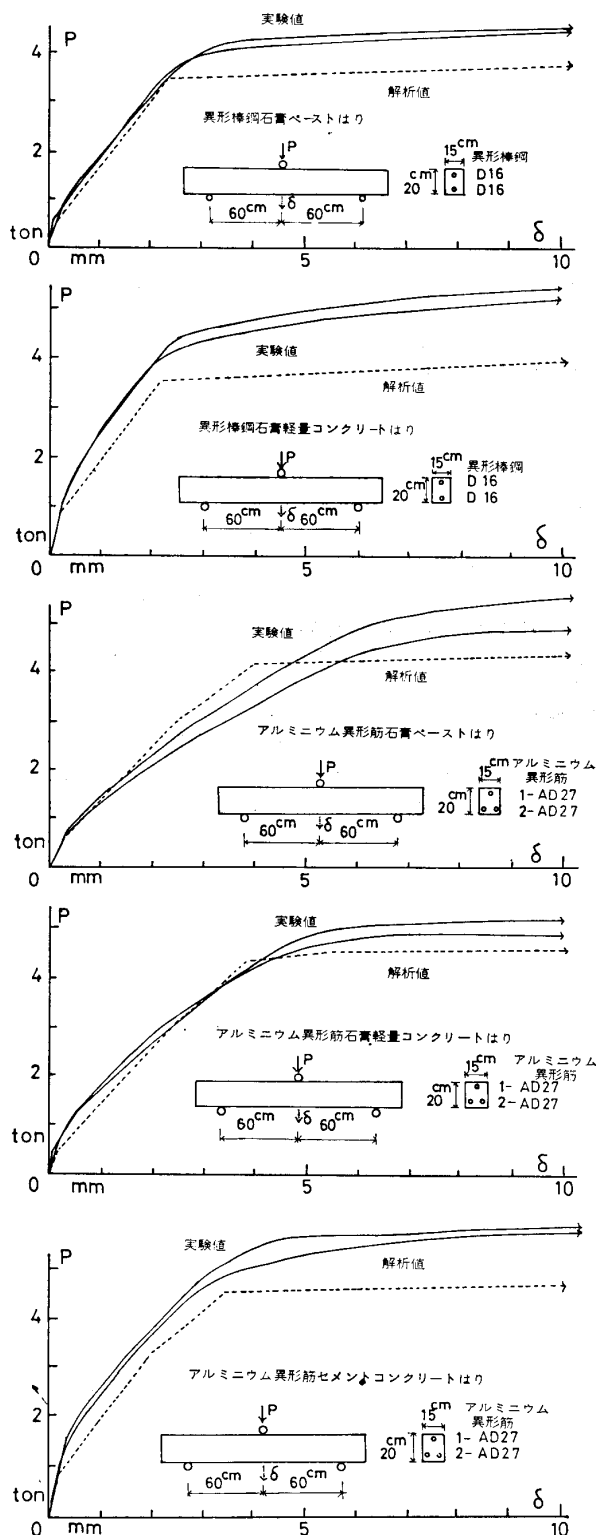


図-9 荷重-たわみ

を金属骨組としたはりの荷重とたわみの関係の実験値と解析値を比較すると図-9 になる。アルミニウム異形筋石膏ペーストはりを除いて、解析値が実験値よりほぼ安全側に出ており、断面の平面保持とマトリックスの引張側を無視するという仮定のもとに、異形棒鋼石膏ペーストはり・異形棒鋼石膏軽量コンクリートはり・アルミニウム異形筋石膏ペーストはり・アルミニウム異形筋セメントコンクリートはりの荷重変形性状を評価出来ることが判る。なお変形が大きくなってきた場合、今回の試験結果では異形棒鋼の破断は起こらなかったが、アルミニウム異形筋セメントコンクリートはりでは、アルミニウム異形筋が破断して最終的な破壊が起こっている。

4. 結 論

石膏ペーストまたは石膏軽量コンクリートのマトリックスと丸鋼またはアルミニウム丸筋の金属骨組を組み合わせたはりでは、付着破壊が生じ問題があるが、異形棒鋼とアルミニウム異形筋を金属骨組にすれば付着破壊を防げる。アルミニウム丸筋を金属骨組とする実大はりの付着破壊荷重の実験値は、マトリックスに埋め込んだ補強筋の引抜き試験より求めた付着強度を用いた略算値よりかなり小さく出ており、付着破壊が生じないことの検定には注意が必要である。

異形棒鋼またはアルミニウム異形筋を金属骨組に用いたはりの耐力は、引張筋がつりあい筋比以下の場合略算式 $M = j \times \sigma_y \times a_t$ で評価出来る。またアルミニウム異形筋が明確な降伏点を示さないの、アルミニウム異形筋の耐力の判断に注意が要る。

アルミニウム異形筋石膏ペーストはりを除いて、異形棒鋼あるいはアルミニウム異形筋によるはりの長期許容荷重時の剛性は、マトリックスの引張側を無視した断面について求めた値より安全側にある。しかし、アルミニウム異形筋石膏ペーストはりの長期許容荷重時や、またいずれのマトリックスにおいてもアルミニウム異形筋の耐力時の剛性は、マトリックスの引張側を無視した解析値よりも小さくなる傾向を示し、石膏のクリープが大きいことも考え合せると、石膏によるマトリックスのはりやアルミニウム異形筋を金属骨組とするはりの設計では、許容変形の点で剛性が十分であるかを調べなくてはならない。

異形棒鋼またはアルミニウム異形筋を金属骨組とするはりの荷重と変形の関係は、クラック発生から降伏点をすぎた後変形の比較的小さい間について、断面の平面保持と、クラック発生後はマトリックスの引張側を無視するという仮定に基づいて導くことが出来る。

また、特に石膏ペーストをマトリックスとする場合は、引張クラック・耐力・剛性という点から不利で、石膏単味をマトリックスとしてはりを設計するのは実用上

好ましくなく、石膏軽量コンクリートとして金属骨組と組み合せるのがよい。

5. む す び

石膏ペーストまたは石膏軽量コンクリートをマトリックスとし異形棒鋼とアルミニウム異形筋を金属骨組とするはりと、セメントコンクリートをマトリックスとしアルミニウム異形筋をマトリックスとするはりについて、耐力と初期の変形は、断面の平面保持とマトリックスの

引張側の無視を仮定した弾塑性理論によって評価出来ること、また基本的には鉄筋コンクリートの場合に準じて設計出来るという知見を得た。

文 献

- 1) 岸谷, 平居, 日本建築学会論文報告集 269号, 昭 53.7
- 2) 岸谷, 平居: 日本建築学会論文報告集 261号, 昭 52.11
- 3) 岸谷, 平居: 日本建築学会論文報告集 262号, 昭 52.12
- 4) 岸谷, 平居: 日本建築学会論文報告集 256号, 昭 52.6

SYNOPSIS

U.D.C. 691.5:691.7

STUDY ON INORGANIC COMPOSITE MATERIALS AS BUILDING MATERIALS

(Part 11 Skeleton Reinforcement : Analytical. Report)

by Dr. KOICHI KISHITANI, Prof. of Tokyo Univ., Dr. TAKA-YUKI HIRAI, Hirai Building Research Office Members of A.I.J.

This paper is to follow the previous part 10 in which the experimental results of the beam tests to investigate the mechanical properties of metallic skeleton reinforced inorganic matrices structures are shown. In the experiments bending performance of the beams, consisting metallic skeleton reinforced Gypsum paste and Gypsum light weight aggregate matrices or aluminium skeleton reinforced inorganic matrices, are examined. In this paper the experimental data are analysed and the conclusions as follows are indicated.

Concerning on aluminium or steel skeleton reinforced Gypsum concrete or Cement concrete matrices beams it is possible to design the components of the structure basically following the current standard of steel reinforced concrete. Yielded strength and stiffness are able to be estimated by the suppositions of the section of the beams keeps plane under the load and the tension side of the matrix is ignored.

As for the bond properties between reinforcing bar and inorganic matrices there are two important matters as follows derived from the analytical results. By the round aluminium bar it is difficult to get enough bond strength in inorganic matrices like Gypsum paste, Gypsum concrete and cement concrete. So the deformed aluminium bar is necessary to be used for the skeleton reinforcing the inorganic matrices. To reinforce Gypsum past or Gypsum concrete matrices roundsteel bar is not suitable for its quite little bond strength, then deformed steel bar is to be chosed for matrices made from Gypsum.