

岐阜大学 学生員 ○石田 裕哉
岐阜大学 正会員 六郷 恵哲, 小柳 洽

1. まえがき

アルカリ骨材反応(以下 ASRと略す)によるひびわれが生じた鉄筋コンクリートはり部材のひびわれ性状・変形状・破壊性状などに及ぼす鋼繊維ならびに鉄筋の影響について検討した。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメントであり, $\text{Na}_2\text{O}:0.24\% \cdot \text{K}_2\text{O}:0.65\%$ を含みその Na_2O 等価百分率は 0.67% である。骨材は, 反応性の碎石(比重: 2.56 最大寸法: 25mm 粗粒率: 6.75 吸水率: 1.81%)および非反応性の川砂(比重: 2.58 粗粒率: 2.70)を使用した。混和剤は AE 剤(天然樹脂酸塩)を使用した。アルカリ量は水酸化ナトリウム(試薬特級)で調整し, Na_2O 等価百分率はセメント量の約 2.3% とした。インデント加工された $\phi 0.5 \times 30\text{mm}$ の鋼繊維を使用した。実験に用いた配合を表-1に示す。表-2に示すように圧縮鉄筋量・鋼繊維混入の有無および試験材令が異なる合計 9種類18本の RC はり供試体を作製した。

はりの断面は $10 \times 18\text{cm}$, 全長は 170cm である。各シリーズとも材令 1日で脱型し材令14日まで 20°C の恒温室中で湿布養生を行なった。その後 SA シリーズならびに A シリーズは恒温室

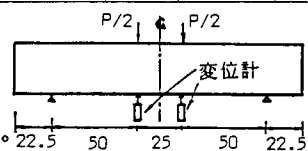
表-1 示方配合

シリーズ名	単位量 (kg/m ³)					Vinsol	
	W	C	S	G	Fiber	Cx%	NaOH
SA	177	354	756	948	78.5	0.03	2.1
A・N	177	354	758	962	0	0.03	2.1

表-2 鉄筋コンクリートはりの種類および試験材令

はりの種類	P (%)	鉄筋比と鉄筋位置 d (cm)	P' (%)	d' (cm)	鋼繊維混入量 (%)	スカーアップの間隔 (cm)	試験材令	備考
SA-1	1.66	15.3	0	—	1.0	10.0 ($\phi 4$)	160日	反応性骨材を使用 鋼繊維を混入
SA-2	1.66	15.3	0.93	2.5	1.0	8.5 ($\phi 4$)	160日	
SA-3	1.66	15.3	1.66	2.7	1.0	12.0 ($\phi 6$)	160日	
A-1	1.66	15.3	0	—	0	10.0 ($\phi 4$)	160日	反応性骨材を使用
A-2	1.66	15.3	0.93	2.5	0	8.5 ($\phi 4$)	160日	
A-3	1.66	15.3	1.66	2.7	0	12.0 ($\phi 6$)	160日	
N-1	1.66	15.3	0	—	0	10.0 ($\phi 4$)	27日	反応性骨材を使用 (ひびわれ発生前 載荷試験)
N-2	1.66	15.3	0.93	2.5	0	8.5 ($\phi 4$)	27日	
N-3	1.66	15.3	1.66	2.7	0	12.0 ($\phi 6$)	27日	

(温度: 40°C 湿度: 100%) 中に移し 146日間散水高温状態におき ASRによるひびわれが生じた後に載荷試験を行ない, N シリーズは常温の実験室中に27日間放置し ASRによるひびわれが生じる前に載荷試験を行なった。なお図-1に示すように載荷重と各載荷点における変位の関係を X-Yレコーダに記録した。各シリーズの圧縮強度試験用供試体 ($\phi 10 \times 20\text{cm}$) の強度試験を行ない, 荷重変位曲線を X-Yレコーダに記録した(検長: 18cm)。



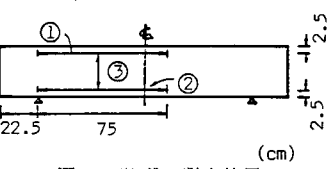
3. 結果と考察

(1) 変形状 RC はりの載荷直前の ASR に伴う膨張ひずみを表-3に, ひずみ測定位置を図-2に示す。SA・A シリーズとも単鉄筋はり (SA-1・A-1) では, はり上側のひずみが下側のひずみより数倍大きな値を示しているが, 複鉄筋となり圧縮鉄筋比が大きくなるほどはり上側と下側のひずみの差は小さい。鋼繊維を混入した SA シリーズのひずみのほうが無混入の A シリーズより小さくなる傾向にあり, ASR による膨張を鋼繊維が拘束している。

表-3 ひずみ測定値 ($\times 10^{-4}$)

はりの種類	1	2	3
SA-1	274	41	400
SA-2	93	66	251
SA-3	37	25	299
A-1	346	67	319
A-2	96	85	359
A-3	64	66	231

図-1 変形状測定位置と載荷スパン



(2) ひびわれ性状 はり供試体に発生したひびわれマップを図-3~図-8に示す。単鉄筋はり (A-1) では図-3に示すように軸方向鉄筋のある下側の側面においては, ほとんどひびわれが発生していないのに対し軸方向鉄筋のない上側においては, 軸方向に直角のひびわれが多数発生している。しかし複鉄筋はり (A-2) においては鉄筋の影響



図-3 ひびわれマップ (A-1)

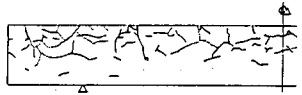


図-4 ひびわれマップ (SA-1)

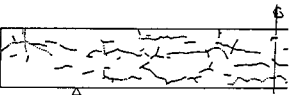


図-5 ひびわれマップ (A-2)

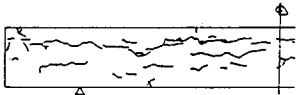
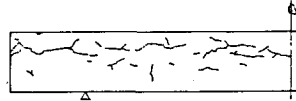
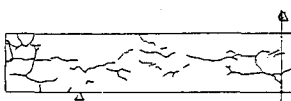


図-6 ひびわれマップ (SA-2)

が大きく表われ図-5に示すように下側（引張り鉄筋）では主鉄筋方向のひびわれが発生し、また上側においては下側と同様の傾向がみられ、A-3においてはこの傾向がより



明確になると共にひびわれ発生量そのものがA-1・A-2に比べ減少している。SA-1とA-1・SA-2とA-2とを比較すると明かに鋼繊維を混入したSAシリーズの方がひびわれ発生量が減少している。

(3) 円柱供試体の破壊性状 各シリーズの圧縮強度試験用供試体の荷重変位曲線の経時変化を図-9～図-11に示す。なおNシリーズの材令増加に伴う圧縮強度と圧縮靱性（変位2mmまでの荷重変位曲線下の面積）の変化を表-4に、SA・Aシリーズのものを表-5に示す。

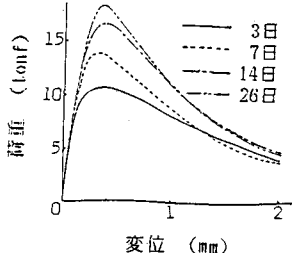


図-9 圧縮荷重変位曲線の経時変化(Nシリーズ)

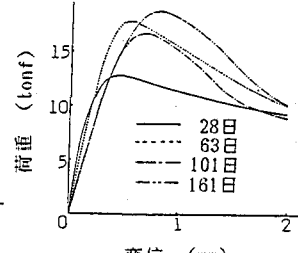


図-10 圧縮荷重変位曲線の経時変化(SAシリーズ)

図-11よりAシリーズでは供試体にひびわれが生じているため材令とともにみかけの弾性係数が小さくなり最大荷重時の変位が大きくなっている。しかし最大荷重すなわち圧縮強度は変わらず、また表-5に示されるように材令による圧縮靱性の変化はみられない。SAシリーズでは材令によって最大荷重が増大し、圧縮靱性も大きくなっている。

表-4 圧縮強度および圧縮靱性の経時変化

シリーズ名	材令(日)	3	7	14	26
N	圧縮強度(kgf/cm ²)	138	178	209	234
	圧縮靱性(kgf・cm)	1450	1620	1900	2020

表-5 圧縮強度および圧縮靱性の経時変化

シリーズ名	材令(日)	28	63	101	161
SA	圧縮強度(kgf/cm ²)	181	230	223	247
	圧縮靱性(kgf・cm)	2140	2760	2420	2780
A	圧縮強度(kgf/cm ²)	189	197	192	197
	圧縮靱性(kgf・cm)	1798	1600	1640	1780

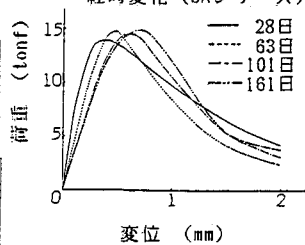


図-11 圧縮荷重変位曲線の経時変化(Aシリーズ)

(4) はりの破壊性状 各シリーズのRCはりの載荷試験の結果を表-6に示す。また各シリーズの荷重変位曲線を図-12～図-14に示す。Nシリーズ（各2本）とSA・Aシリーズ（各1本のみ）とを比較した場合、曲げひびわれ発生荷重

表-6 RCはり載荷試験結果

はりの種類	破壊形式	発生荷重 (tonf)					靱性 (kgf・cm)
		曲げひびわれ	せん断ひびわれ	降伏	圧壊	最大荷重	
SA-1	圧壊	2.4	5.2	5.2	5.5	5.6	39340
SA-2	圧壊	2.8	5.8	5.6	5.8	5.6	36350
SA-3	せん断	3.2	6.8	5.7	5.8	7.0	34725
A-1	圧壊	2.7	3.4	4.6	4.7	4.9	15650
A-2	圧壊	3.1	—	5.3	5.3	5.6	26790
A-3	せん断	1.4	5.3	5.5	5.7	6.6	34725
N-1-1	圧壊	1.0	—	5.2	5.2	5.2	18300
N-1-2	圧壊	0.9	—	5.3	5.3	5.3	19690
N-2-1	圧壊	1.2	2.5	5.4	5.4	5.4	26410
N-2-2	圧壊	1.1	3.8	5.5	5.5	5.7	29290
N-3-1	せん断	1.2	—	5.5	5.5	6.9	28010
N-3-2	せん断	1.0	—	5.4	5.4	6.4	32700

圧壊：コンクリートの圧壊 盛屈：圧縮鉄筋の盛屈

せん断ひびわれ発生荷重ともにSA・Aシリーズの方が大きくなる傾向を示している。これはASRによるコンクリートの膨張を鉄筋が拘束することにより鉄筋とコンクリートにそれぞれ引張り応力と圧縮応力が発生し、はり供試体はプレストレスが働いた状態となると考えられる。SAシリーズの方がAシリーズに比べ各々のひびわれ発生荷重が大きくなる傾向が顕著であったのは鋼繊維とコンクリートとの間にも引張り応力と圧縮応力が発生し、はり供試体にプレストレスが働いた状態となると考えられる。また荷重変位曲線については、N-1とA-1・N-2とA-2の荷重変位曲線はほぼ一致しており、ASRによるひびわれがはりの破壊性状におよぼす影響は認められない。N-3は大変形後にせん断破壊したのに対しA-3はせん断破壊による急激な耐力の低下は認められなかった。

4. まとめ

ASRによる膨張は鉄筋によってある程度拘束されるが、鋼繊維を混入することによってさらに拘束されることが明かとなった。また、ASRによるひびわれの有無がはり供試体の破壊性状におよぼす影響はほとんど認められない。

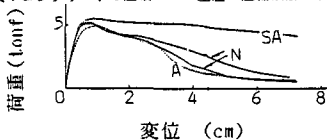


図-12 RCはり荷重変位曲線(1グループ)

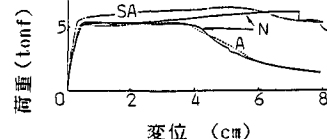


図-13 RCはり荷重変位曲線(2グループ)

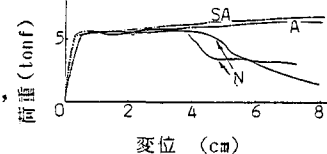


図-14 RCはり荷重変位曲線(3グループ)