

特殊混和剤を用いた新しい水中コンクリートの性状に関する研究(その2)

Fundamental Study on New Under Water Concrete Properties with Peculiar Admixture — Part II —

高橋 秀樹*
Hideki Takahashi

前川 一行**
Kazuyuki Maekawa

松井 健一**
Kenichi Matsui

小島 雅樹***
Masaki Kojima

要 約

特殊混和剤を添加した水中コンクリート(マークリート)を、水中で施工するRC構造物に適用することを考え、以下のような実験を行った。

水中に打設したマークリートについて新旧コンクリートの打継ぎ性状や鉄筋との付着性状を解明するため、打継ぎ試験体による曲げ試験と鉄筋の付着強度試験を行い、さらに水中でRCのはり試験体を作成し、曲げ試験によって部材の性能について検討を行った。

実験の結果、次のようなことがわかった。

- (1) マークリートを水中で打設した場合、振動締固めや打継ぎ面の処理を行わなくても、気中で施工された普通コンクリートと比べ、ほとんど遜色のない良好な打継ぎ性状や付着性状が得られる。
- (2) マークリートのRC部材としての適用も、普通コンクリートと同程度に評価できる。

目 次

- §1. まえがき
- §2. 実験概要
- §3. 実験結果及び考察
- §4. まとめ
- §5. あとがき

§1. まえがき

RC構造物を水中で施工すると、陸上で施工した場合に比較してコンクリートの打継ぎ性能や鉄筋との付着性能が劣り、この結果水中で施工されたRC部材の耐力は低下すると考えられる。

近年開発された、特殊混和剤を添加した新しい水中コンクリート(以後、当社が開発したものをマークリートと称す)は、ブリージングが少なく、水中でのRC構造

物に利用するとRC部材の性能は改善されることが考えられる。

本研究では、これらの性能を確認するため次のような実験を行なった。

- ① コンクリートの水中打継ぎ特性に関する試験
- ② 水中に打設したコンクリートの鉄筋との付着特性に関する試験
- ③ 水中で作成したRCはりの曲げ特性に関する試験

なお、これらの試験には、比較のために通常のコンクリートを用いて気中で施工した場合、及び特殊混和剤を用いない従来の水中コンクリートを用いて水中で施工した場合を加えた。

§2. 実験概要

2-1 実験に用いたコンクリート

実験に用いたコンクリートは、マークリート(M:水中施工)と比較のために用いた普通コンクリート(P:

* 技術研究部技術研究所
** 技術研究部技術研究所係長
*** 技術研究部原子力室係長

Table 1 コンクリートの配合

配合の種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kgf/m ³)							コンシステンシー (cm)	空気量 (%)	(標準供試体) 圧縮強度 σ_{28} (kgf/cm ²)
				単				混和剤					
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	特殊混和剤 (kgf/m ³)	助剤 (ℓ/m ³)	AE減水剤 (ℓ/m ³)			
マークリート (M)	25	63.3	43	230	375	670	931	3.0	7.5	—	50.0 (スプレッド)	3.1	273
従来の水中コンクリート (W)	25	49.9	43	187	375	726	1007	—	4.7	—	17.0 (スランプ)	3.3	337
普通コンクリート (P)	25	62.0	43	188	303	733	1018	—	—	0.9	16.0 (スランプ)	3.4	276

Table 2 実験に使用した材料の品質

(1) コンクリート材料

①	セメント	普通ポルトランドセメント	
②	細骨材	産地	相模川産
		比重	2.54
		粗粒率	3.22
③	粗骨材	産地	相模川産
		比重	2.66
		粗粒率	6.67
④	混和剤	特殊混和剤	アスカクリーン
		助剤	NP-20
		AE減水剤	ポゾリス・No.70

(2) 鉄筋

径	材質	降伏値 (kgf/mm)	引張強さ (kgf/cm ²)	伸び (%)
D25	SD35	44	63	21

気中施工)並びに特殊混和剤を用いない従来の水中コンクリート (W:水中施工)とした。

各コンクリートの配合を Table 1 に示す。

なお、配合を定めるうえでの目標強度は、いずれも σ_{28} = 240 kgf/cm², M 配合における目標スプレッド値は 40~45cm, P 及び W の配合の目標スランプは 15±2.5cm とした。

Table 2 に材料の品質を示す。

また、各実験における試験体は、気中で作成する場合には締固めを行い、水中で作成する場合には締固めを行わないことを原則とした。また、水中で試験体を作成する場合にはいずれも水中落下高さを 30cm とした。

2-2 コンクリートの打継ぎ性状試験

新旧コンクリートの打継ぎ性状を調査するために、Fig.1 に示すような 2つのケースについて試験した。

ケース 1 は 10×10×40cm の型枠を縦方向に設置し、2層に分けてコンクリートを打継ぐ方法であり、ケース 2 は、幅 15cm、高さ 30cm、長さ 120cm の型枠を水平に設

置し、これに 1層 15cm ずつコンクリートを打継ぐ方法である。(ケース 2 は水中施工であり、M 配合のみ行った)

なお、いずれの打継ぎも第 1層を打込み、24時間後に打継ぎ面を処理しないで第 2層を打継ぐ方法とした。

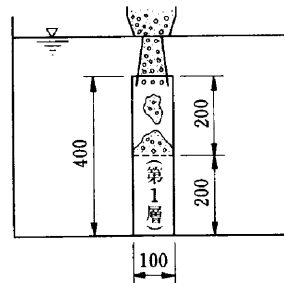
これら打継ぎ部の性能の評価は、曲げ試験による強度およびひずみによって行った。

以上、打継ぎ試験における実験の因子と水準を Table 3 に示す。

Case.1

試験体寸法: 10×10×40cm

コンクリート
打込方向



Case.2

試験体寸法: 15×30×120cm

コンクリート
打込方向

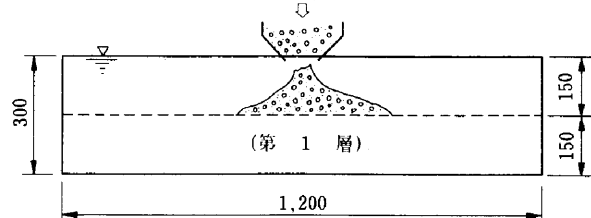


Fig.1 打継ぎ試験体(作成方法)

Table 3 コンクリートの打継ぎ試験

No.	実験の因子	水	準
1.	コンクリートの配合	マークリート, 従来の水中コンクリート, 普通コンクリート	3
2.	コンクリートの打設方法	気中打設, 水中打設	2
3.	試験体の打継ぎの有無	有, 無	2
4.	試験体の寸法	10×10×40cm, 15×30×120cm	2

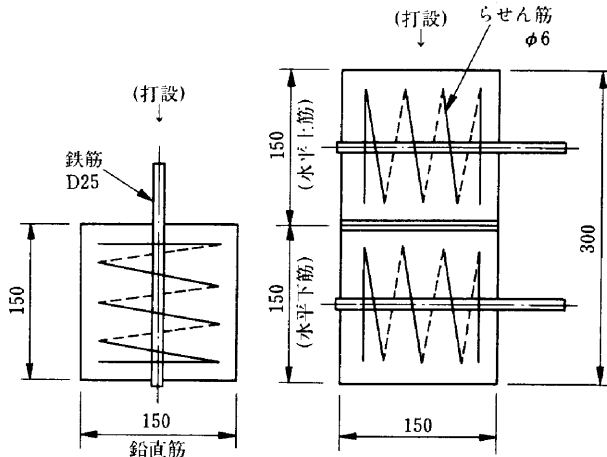


Fig.2 附着強度試験

2-3 鉄筋との附着強度試験

水中で施工する RC 部材を想定して各条件下での鉄筋の附着強度試験を行った。試験は、JCI (案) 及び ASTM の試験方法に準拠し、鉛直筋、水平上筋、水平下筋の3種類について作成した。なお、鉄筋は D25 を用いた。試験体の形状・寸法を Fig.2 に示す。

2-4 水中で作成した RC ばりの試験

マークリートを用いて水中施工した RC 部材の性能を調べるため、マークリートと普通コンクリートによる試験ばり（幅15cm、高さ30cm、長さ250cm）を作成し、曲げ試験を行って耐力や変形、ひびわれについて比較検討を行った。

(1) 試験体の作成方法

マークリートによる試験ばり (M) は、水深1.8mの水槽（2 m×4 m×2 m）に鉄筋を組み込んだ型枠を

設置し、コンクリートの水中落下高さが30cmになるようにして、トレミー管(φ150、塩ビ管)により作成した。M 試験ばりの作成状況を Photo 1 に示す。なお、普通コンクリートによる気中作成の試験ばり (P) ではバイブレータで締固めを行ったが、M 試験ばりはコンクリート打設終了後に水槽の水を抜き、コンクリートの表面を均した。試験体の形状寸法を Fig.3 に示す。

配筋は、引張鉄筋比 $P_t = 0.027$ 、複鉄筋比 $r = 0.39$ であり、定着破壊を防ぐため鉄筋端部を材端の鉄板 ($t = 9\text{mm}$) に溶接し、また、曲げ降伏荷重に対してせん断破壊しないようにせん断補強筋を配置した。



Photo 1 水中試験ばりの作成状況

(2) 試験方法

ばり試験体の加力は、Photo 2 に示すように単純ばり形式の2等分1点集中載荷とし、次の3サイクルとした。1サイクル目の加力は初期のひびわれが発生するまでとし、2サイクル目は試験ばりの降伏までとしひびわれを観測し、3サイクル目では試験ばりが破壊に至るまでとした。試験による測定及び検討は次の項目について行った。

- ① スパン中央におけるたわみ
- ② 鉄筋及びコンクリートのひずみ

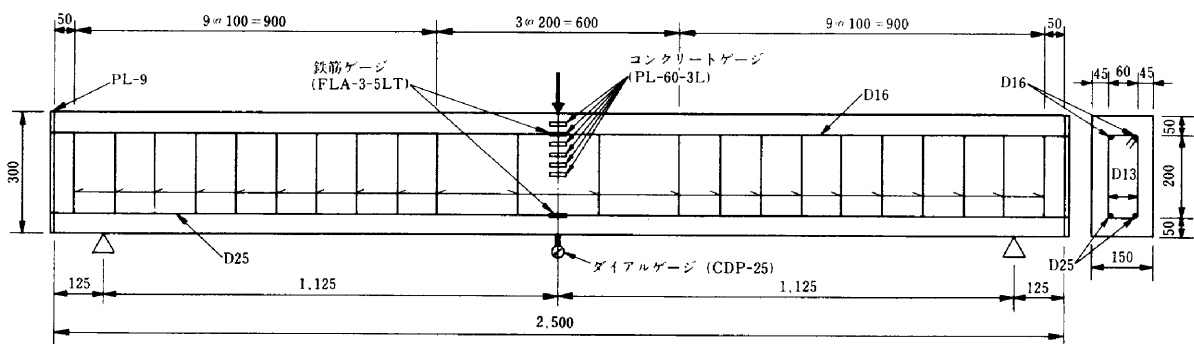


Fig.3 ばり試験体

- ③ ひびわれの発生状況と分散性
- ④ 試験ばりの耐力

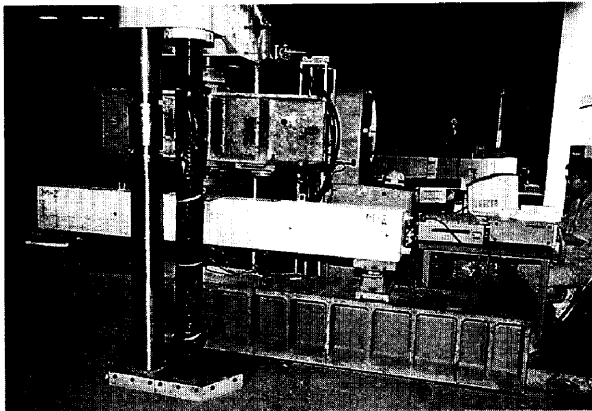


Photo 2 加力装置

§3. 実験結果及び考察

3-1 マークリートの打継ぎ性状

Table 4 に打継ぎ部をもつ試験体の曲げ試験結果を示す。打継ぎ部の性状の評価は、それぞれの配合における打継ぎのないものの曲げ強度と打継ぎ部の曲げ強度との比で行った。

水平打継ぎの場合、従来の水中コンクリート（水中作成）では、打継ぎ部の曲げ強度はほとんど期待できなかった。それに比較してマークリート（水中作成）では、普通コンクリートの約80%の強度が得られた。したがって、マークリートの打継ぎ性能は水中においてもかなり良好であると考えられる。これは、マークリートはブリージングがほとんどないためレイタンスが少なく、新旧コンクリートの付着力が大きくなるものと考えられる。

なお、型枠を水平に置き中央に仕切板を有する鉛直打継ぎについても試験したが、水中施工ではマークリートも従来の水中コンクリートも打継ぎ部の強度はほとんど得られなかった。このような鉛直打継ぎでは、マークリートの場合でも打継ぎ面の処理を行うなどの対策が必要であると思われる。


Fig.4 は、ケース2においてマークリートを用いた試験体の曲げ試験における載荷重と各測点のひずみ分布を示したものである。

このような打継ぎを行った場合、打継ぎ性状が悪いと第一層と第二層が一体化せず重ねばりとして働く。試験の結果をみると、打継ぎのない試験体に比べて、耐力的には破壊荷重が約90%と若干低下しているが、ひずみ分

布は、打継ぎのない試験体と同様に第一層に引張り、第二層に圧縮ひずみを生じ、しかも、ひずみははりせいに応じてほぼ直線的に変化している。

以上から、マークリートでは、第一層と第二層が一体として働き打継ぎ性状が良好であったと考えられる。したがって、マークリートの水中における水平打継ぎでは高い付着力が期待でき、構造物の一体性が得られるものと考えられる。

Table.4 コンクリートの打継ぎ試験結果

打継ぎ方法	コンクリートの配合	圧縮強度 (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)		強度比 $\frac{B}{A} \times 100$
			打継ぎ・無 (A)	打継ぎ・有 (B)	
水平打継ぎ 打設方向 	マークリート (水中)	247	34.7	13.8	40
	従来の水中コンクリート (水中)	145	44.3	4.0	9
	普通コンクリート (気中)	276	41.4	21.0	51

3-2 鉄筋との付着性状

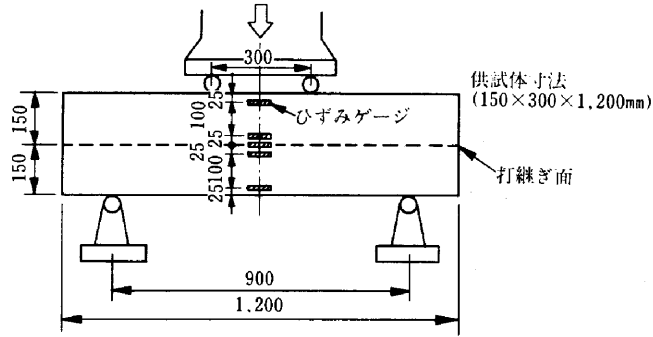
各配合における付着応力度とすべり量の関係を Fig. 5 に、付着応力度と応力比を Table 5 に示す。なお、応力比は付着応力度をコンクリートの圧縮強度で割った値で、圧縮強度の違いによる影響を排除したものである。

各試験体の応力比をみると、普通コンクリート (P) と従来の水中コンクリート (W) では、鉛直筋に対して水平筋の値が低くなっている。特に、W 配合では低下が著しい。

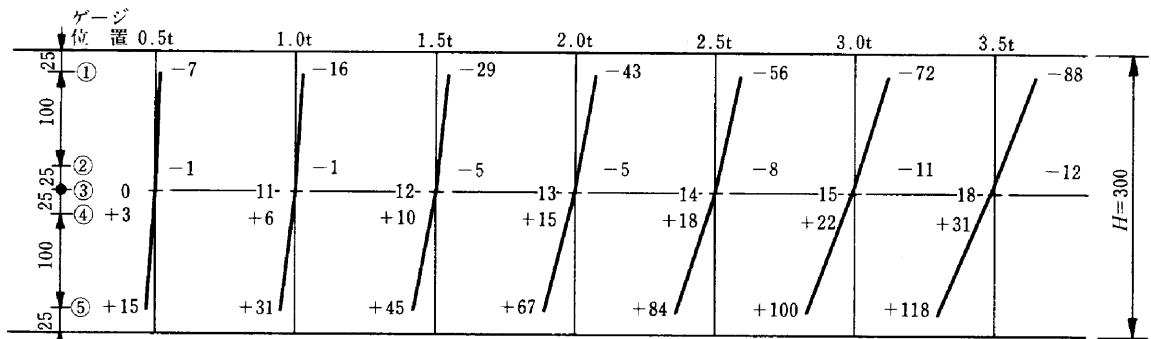
一方、マークリート (M) ではその差があまりなかった。

このことは、P 配合や W 配合のような特殊混和剤を用いないコンクリートでは、鉛直筋はブリージングの影響が少ないのに対し、水平筋はブリージングやコンクリートの沈下によって鉄筋の下面に水膜や空隙ができるためと考えられる。マークリートの場合、ブリージングの発生が特に少ないため、鉛直筋も水平筋も大きな付着力が得られたものと考えられる。

また、普通コンクリートとマークリートの各応力比を比較すると、その差はほとんど認められない。したがって、マークリートの水中での RC 構造物への充填性や鉄筋に対する付着力は、普通コンクリートと同等と推測される。



(a)N(打継無)試験体: $P_{max}=4.24t$



(b)J(打継有)試験体: $P_{max}=3.78t$

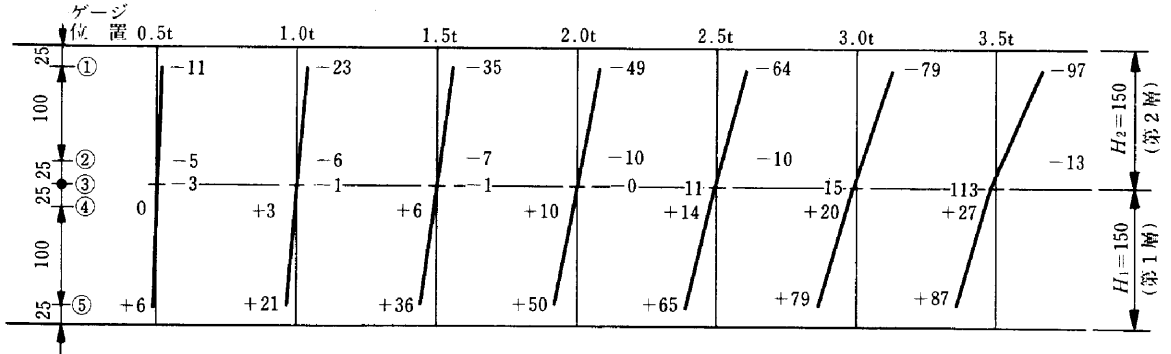


Fig.4 縦ひずみ分布図(打継ぎ試験)

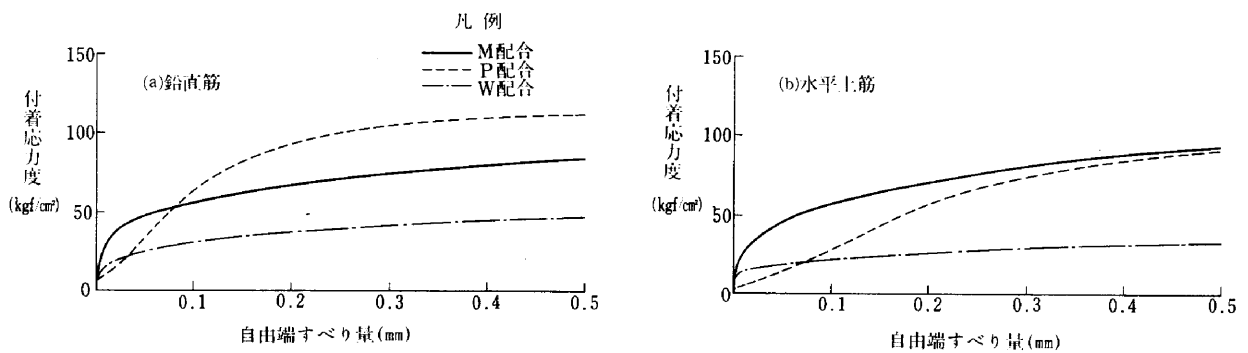


Fig.5 付着応力度とすべり量

Table.5 附着強度試験結果

コンクリートの配合	圧縮強度 (kgf/cm ²)	鉄筋の配西	各すべり時の平均附着応力度 (kgf/cm ²)			
			0.05mm(0.002D)		最大附着応力度	
			附着応力度	応力比	附着応力度	応力比
マークリート (水中)	231	鉛直筋	47.9	0.21	95.6	0.42
		水平上筋	40.6	0.18	100.6	0.44
		水平下筋	33.6	0.15	100.1	0.43
従来の水中コンクリート (水中)	119	鉛直筋	28.2	0.24	56.1	0.47
		水平上筋	15.3	0.13	34.0	0.29
		水平下筋	11.2	0.09	36.2	0.30
普通コンクリート (気中)	271	鉛直筋	29.4	0.11	124.6	0.46
		水平上筋	15.5	0.06	107.0	0.39
		水平下筋	22.4	0.08	115.9	0.43

$$\text{応力比} = \frac{\text{附着応力度}}{\text{圧縮強度}}$$

3-3 マークリートのRCはりの試験結果

試験結果の一覧を Table 6 に、荷重とたわみ及びひずみの関係を Fig.6 に、ひびわれの分布状況を Fig.7 に示す。

(1) ひびわれの発生とたわみの進行

目視による最初のひびわれが発生した時点の荷重は、M試験ばかりが1.7t、P試験ばかりが2.5tであった。なお、Fig.6 (a) の荷重-たわみ曲線では初ひびわれの推定は困難であった。

「RC構造規準・同解説」によってひびわれモー

Table 6はり試験結果一覧表

試験体	配合の種類	コンクリート性状		試験体の作成方法	載荷方法	ひびわれ発生時		降伏時		破壊時		初期ひびわれ	備考		
		圧縮強度 (kgf/cm ²)	静弾性係数 (kgf/cm ²)			荷重 P _{cr} (t)	たわみ σ _{cr} (mm)	荷重 P _y (t)	たわみ σ _y (mm)	荷重 P _u (t)	たわみ σ _u (mm)			ひびわれ本数	平均間隔 (最小-最大) (cm)
M	マークリート	232	1.96×10 ⁴	水中作成 締固めなし 水槽養生	P ↓	1.7	0.700	15.7	11.448	16.0	15.404	12	14.7 (6.0-21.5)	鉄筋(SD35) 降伏応力度 σ _{sy} =4.390 kgf/cm ²	
P	普通コンクリート	259	2.06×10 ⁴	気中作成 振動締固め 散水養生	△ △ ↔ ℓ=2,250	2.5	1.030	16.1	10.684	17.2	11.188	12	16.2 (4.5-27.0)		

*下段：理論値
() 内：実測値に対する理論値の比

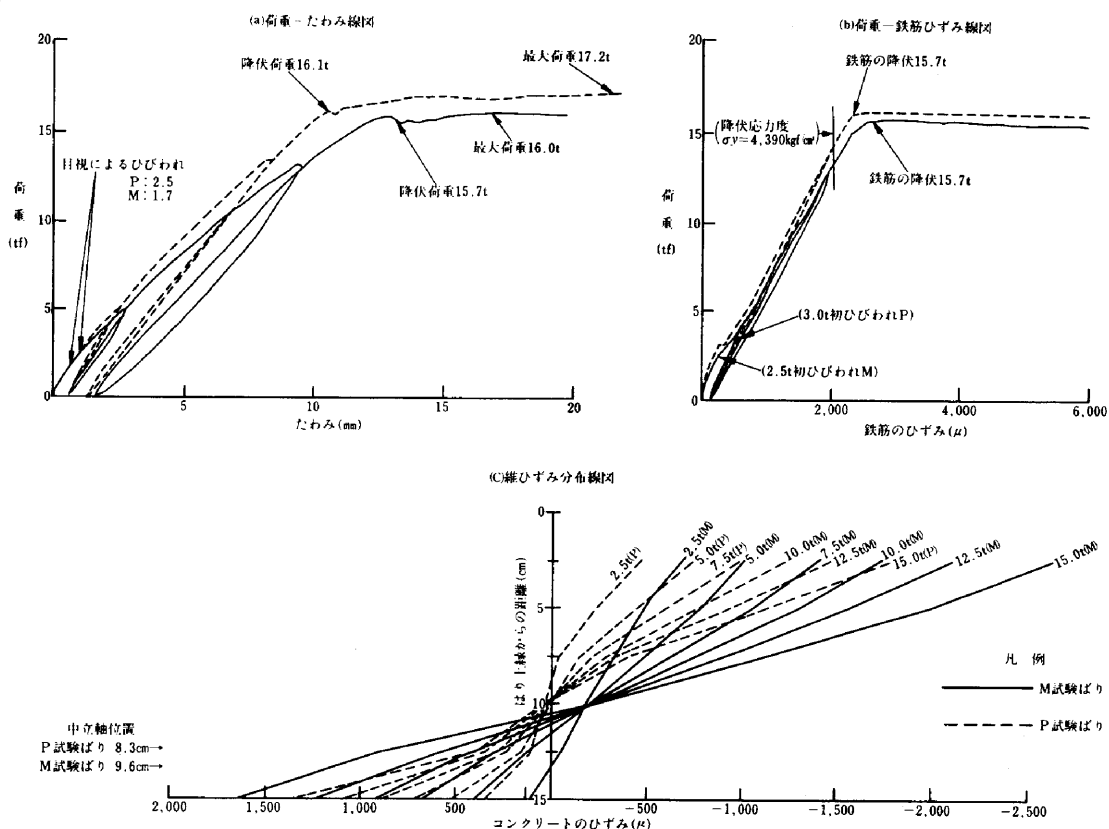


Fig.6 はり試験結果図

ントを計算し、それから求めた初ひびわれ荷重は、Table 6 に示すように、P 試験ばかりでは1.71 tとなり目視による結果とは差があったが、M 試験ばかりでは1.56 tとなり、ほぼ目視に近い値が得られた。

次に、引張鉄筋が降伏したと考えられる降伏荷重は、P 試験ばかりが16.1 t、M 試験ばかりが15.7 tで、ほぼ同等の値を示していた。

また、Fig.6 (a) の各試験ばかりの荷重-たわみ曲線を比較すると、初期のひびわれ発生までの領域、初期のひびわれ発生から引張鉄筋の降伏までの領域、引張鉄筋降伏以後の領域と、各領域ともかなり類似した曲線を示している。

(2) ひずみと曲げ応力

① 鉄筋のひずみ

Fig.6 (b) はスパン中央部における引張鉄筋の荷重-ひずみ曲線である。初ひびわれ荷重は Fig.6 (a) において明瞭ではなかったが、鉄筋のひずみ曲線からは読み取ることができる。しかし、Fig.6 (b) から読み取れる初ひびわれ荷重は、M 試験ばかりが2.5 t、P 試験ばかりが3.0 tと目視より若干大きくなって

いた。

引張鉄筋の降伏は、Fig.6 (b) から M 試験ばかりが15.7 t、P 試験ばかりが16.1 tと、Fig.6 (a) から得られる降伏荷重とよく一致していた。

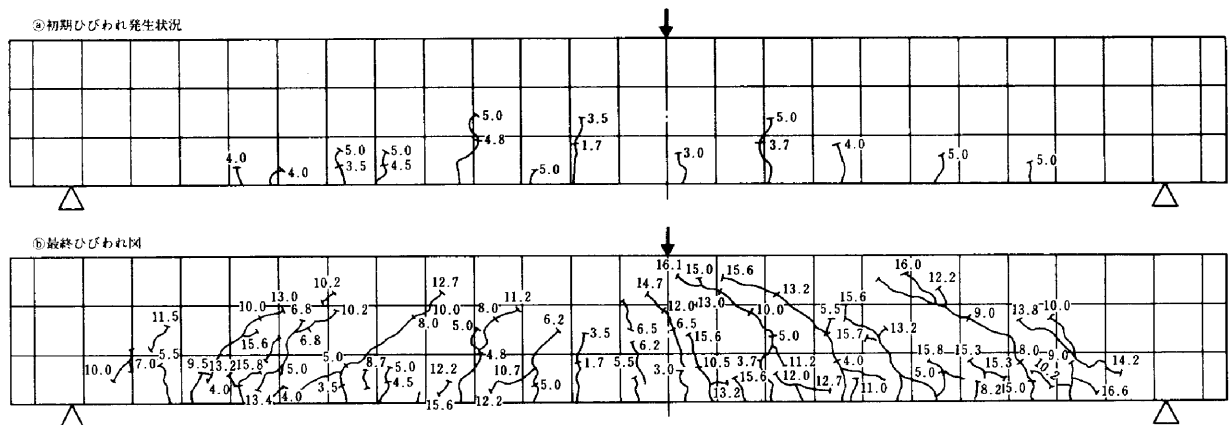
② コンクリートのひずみ

コンクリートの最大ひずみは M 及び P 試験ばかりとも3,000 μ を上回り、いずれも弾性域(1,200 μ ~1,250 μ 前後)を越えて塑性域に入っていた。

また、コンクリートのひずみが降伏に達したと思われる時点では引張鉄筋は降伏に至らず、M、P 試験ばかりとも破壊は曲げ圧壊によるものと判断された。

次に、Fig.6 (c) に示すはり中央における圧縮側コンクリートのひずみ分布を検討すると、M 試験ばかりでは圧縮側のひずみ破壊に近い状態になるまでは直線を保っており、中立軸の位置は荷重の増加にもなって上部に移動している。ε 関数法によって求めた中立軸の位置は、若干上方になっているが、ほぼ近い値になっている。P 試験ばかりでは、中立軸前後でひずみ線が折れており、そのために中立軸もあまり移動していない。

(1)M(マークリート)試験体：P_{max}=16.0t(σ₂₈=205kgf/cm²)



(2)P(普通コンクリート)試験体：P_{max}=17.2t(σ₂₈=259kgf/cm²)

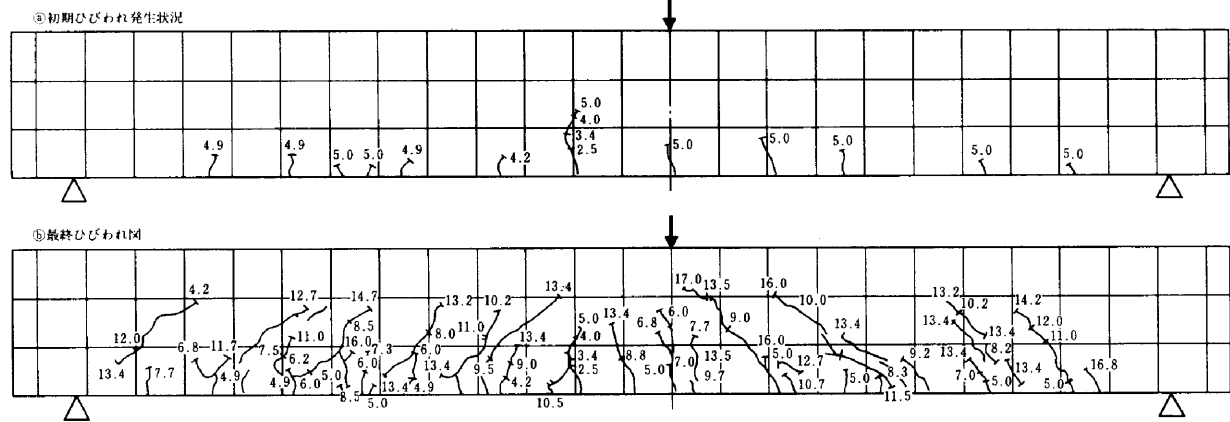


Fig.7 ひびわれ分布図

(3) ひびわれの発生状況は、Fig.7 に示す通りである。Fig.7 ④ は曲げによる初期のひびわれ発生状況を示すもので、曲げによるひびわれは、荷重の増加とともに圧縮縁の方向に伸び、引張降伏荷重で、ほぼ圧縮鉄筋の位置まで達していた。途中、支承付近から載荷点に斜めに向かうせん断ひびわれや、引張鉄筋に沿って細く短かい付着ひびわれも発生した。

一般に、ひびわれ分散性は鉄筋とコンクリートとの付着性能と密接な関係があるといわれており、次のようにひびわれ分散性について検討した。

初期の曲げによるひびわれ本数は両試験ばりとも12本ずつであった。Fig.7 ⑤ の最終ひびわれ図をみるとどちらも同じような様相を呈していたが、M試験ばりのひびわれがやや分散していた。

以上のひびわれ検討結果からも、水中作成のマークリートによる試験ばりは、普通コンクリートによる試験ばりと比較しても特に差はなかった。

(4) 耐力

耐力は、鉄筋とコンクリートのひずみの関係から、曲げによるコンクリートの圧壊により支配される。最大荷重はM試験ばりが16.0t、P試験ばりが17.2tであった。 ϵ 関係数法によって計算した破壊曲げモーメントは、M試験ばりが7.40t・m、P試験ばりが7.56t・mで、これから破壊荷重を求めるとM試験ばりが13.2tで、P試験ばりが13.4tと実験値の方がやや高い値を示した。

また、最大荷重はP試験ばりの方が大きい結果となったが、標準供試体の圧縮強度(M:232kgf/cm²、P:259kgf/cm²)を考慮すると、M試験ばりもP試験ばりと同程度の耐力を有するものと推察された。

§4. まとめ

本実験は、水中におけるRC構造物の構築に対するマークリートの打継ぎ性状や付着性状及び部材としての性能について、普通コンクリートや従来の水中コンクリートと比較しながら検討を行ったものである。

これらの実験から明らかになったことをまとめると、次の通りである。

① マークリートの打継ぎ性状

水中におけるマークリートの水平打継ぎ強度は、ブリージングがほとんどなく、レイタンスの発生が少ないので、普通コンクリートの強度と比較して遜

色なく、従来の水中コンクリートに比べると優れていた。

また、マークリートによる打継ぎの一体性を調べる試験からは、第一層と第二層が一体として働き、打継ぎが良好であることがわかった。

② マークリートの付着性状

普通コンクリートの鉄筋との付着強度は、鉛直方向と水平方向で差があったが、マークリートの場合には、鉛直筋・水平筋とも同程度の付着強度が得られた。

③ マークリートによるRC部材の性能

マークリートによる試験ばりは、ひびわれの発生状況やその分布、たわみ、耐力等において、RC部材として実用上十分な性能を有していると判断できた。

§5. あとがき

本研究は、前報に引き続き打継ぎ試験体による曲げ試験や鉄筋の付着試験を行って、マークリートの打継ぎ性能や付着性能を調べ、さらにRCの部材の性能についても検討を行ったものである。その結果、水中におけるRC構造物において、マークリートは実用上十分な性能を有することが確認された。

なお、今後の課題としては、海水中の塩分による影響や耐久性、マスコンクリートにおける温度応力やひびわれの検討等が挙げられる。

また、現場においての、打設方法に応じたコンシステンシーやコンクリートポンプの圧送性、水質汚濁の状況等の検証を行って、施工技術の蓄積を図っていく予定である。

最後に、本実験に御協力・応援を戴いた平塚製作所の熊谷係長はじめ御助言を戴いた関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国分正胤：土木材料実験 (株技報堂)
- 2) 足立 他：ショットブラストを利用した新旧コンクリートの打継ぎ工法に関する研究，土木学会論文集，第373号，1986年
- 3) 玉田 他：分離低減剤を用いたコンクリートの水中打継ぎ性状，セ技年報39，昭和60年
- 4) 立畑 他：水中コンクリート用混和剤を用いたコンクリートの強度性状について，セ技年報37，昭和58年

- 5) 大橋 他：高分子剤を添加した特殊水中コンクリートの付着性状について，五洋建設技報，Vol. 14，1985
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1982
- 7) 武藤 清：構造物の強度と変形，丸善
- 8) 中原 他：新しい水中コンクリートの開発研究，鹿島建設技報，第29号，昭和56年
- 9) 熊谷 他：超速硬セメントを用いたRCばりの若材令時曲げ試験およびコンクリートの断熱温度特性に関する実験，西松建設技報，Vol.8，1985