

1. まえがき

コンクリートの補強材として一般に使われている鉄筋は、磁石に強く吸引される強磁性を示すため、磁気浮上式鉄道用ガイドウェイなど磁界の影響を考慮すべき場合には、この鉄筋にかわる補強材が必要である。鉄筋にかわる非磁性鋼として、ステンレス鋼、高マンガン鋼が考えられる。ここではステンレス鋼に比べてコンクリート補強材としての資力が乏しく、またその含有成分からみて安価であろう高マンガン鋼鉄筋のコンクリート補強材としての可能性について実験的検討を試みた。

2. 高マンガン鋼の諸性質

高マンガン鋼はその発明者の名に因みハッドフィールド鋼ともよばれ、主成分はCが0.3～1.3%、Mnが11～14%を含むオーステナイト組織で強じん性に富む非磁性鋼である。

コンクリート補強材として代表的なPC鋼棒、鉄筋にメーカ提供の高マンガン鋼棒の諸性質を表1に示す。

2.1 機械的性質

表1より高マンガン鋼棒の降伏点はPC鋼棒の半分以下であるが、SD35鉄筋の耐力なみである。また、高マンガン鋼棒の引張強度はSD35鉄筋以上でPC鋼棒に近い値である。さらに伸びについてもSD35鉄筋の値を上まわっている。

2.2 物理的性質

高マンガン鋼棒の弾性係数は鉄筋と同程度であるが、熱膨張係数はコンクリートの2倍程度大きく、温度変化に伴う熱応力によるコンクリートのひびわれなどの検討が必要であろう。透磁率は土木構造物に用いる非磁性鋼としては妥当な値であろう。また電気抵抗は鉄筋の3～6倍大きく誘導磁化に対して鉄筋より有利である。

以上、鉄筋の具備すべき機械的性質では高マンガン鋼棒はSD35鉄筋の規格を満すが、物理的性質には検討すべき点がある。

3. 高マンガン鋼鉄筋の検討

前述のように高マンガン鋼棒の諸性質を調べた結果、コンクリートとの付着、コンクリートと高マンガン鋼の熱膨張係数の差によるコンクリートのひびわれ、および疲労強度などについて実験的検討を加える。

3.1 コンクリートとの付着

SD35鉄筋、およびそれと同様波形（波形フジ）の高マンガン鋼異形鉄筋について、コンクリートとの付着強度の差異を調べるため、鉄筋の引抜き試験を行なった。試験方法は日本材料学会で定める方法に準じ、鉄筋の公称直径は両者とも10mm、コンクリートの28日強度は 400kg/cm^2 であった。また温度変化に伴う熱応力による付着強度の低下も想定されるため、一部

表1 PC鋼棒、鉄筋と高マンガン鋼棒の諸性質

種 別	規格	機 械 的 性 質			物 理 的 性 質			
		降伏点、耐力 kg/mm ²	引張強度 kg/mm ²	伸 び %	弾性係数 kg/mm ²	熱膨張係数 1/°C	透磁率	比電気抵抗 μΩ-cm
PC 鋼棒	S8PH 90/96	80以上	95以上	5以上		10.0×10^{-6}		
	SD30	30以上	49～63	14～18以上			650	12.9
	SD35	35以上	50以上	18～20以上	21000	10.0×10^{-6}	4000 (最大透磁率)	22.2
	SD40	40以上	57以上	16～18以上				
高 マン ガン 鋼 棒 (JIS)	MM12 Q3	38以上	91	33	19700	20.09×10^{-6}	1.02～1.03 (20°C)	71
	IRS-2 Q0	35以上	70以上	30	18000		1.005 (300°C)	
	MS Q0	35以上	80以上	40以上	17700	18.4×10^{-6}	1.004	66.5
	14Mn Q0	35以上	90以上	40以上		16.4×10^{-6}	1.02～1.03	
	13Mn Q0	35以上	50以上	18以上		14.2×10^{-6}	1.10以下	70.6
	18Mn Cr Q0	35以上	80以上	30以上	19000	16.0×10^{-6}	1.032 (300°C)	76.8

1) 資料示方表による値

2) 日本金属学会誌：鉄鋼材料解説、丸鋼、昭和42、P535

表2 鉄筋の引抜き試験結果

種 別	試験条件	試 号	各付着応力間のすべり量(×10 ³ mm)					最大付着応力 kg/cm ² 最終状態
			212kg/cm ²	425kg/cm ²	637kg/cm ²	849kg/cm ²	97kg/cm ²	
高 マン ガン 鋼	未加熱	1	2	—	10	24	67	89.2
	20～70°C	2	3	—	11	21	53	84.9
	3週間	3	3	—	11	23	40	93.4
	凍結3.5週間	平均	—	—	—	—	—	89.2
S D 3 5	未加熱	1	2	—	10	29	61	90.2
	20～70°C	2	2	—	15	34	63	89.2
	3週間	3	2	—	7	18	37	89.7
	凍結3.5週間	平均	—	—	—	—	—	89.5

(注) 応力は全断面有効(有効長15cm)で計算 寸法φ10mm

の鉄筋供試体に数回の熱サイクルを与えた後引抜き試験を行ない、SD35鉄筋との差異を検討した。

表2にそれぞれ鉄筋の引抜き試験結果を示すように、高マンガン鋼異形鉄筋の付着応力は 90 kg/cm^2 程度で、SD35鉄筋との差異はみられなかった。それ故、この実験の限り熱膨張係数の差異が付着強度におよぼす影響は小さいものと考えられる。

3.2 熱膨張係数差の影響

高マンガン鋼の熱膨張係数はコンクリートの2倍程大きいので、使用中の温度変化に伴う熱応力によるコンクリートのひびわれの発生が想定される。

いま、ある均衡状態から鉄筋が θ_s 、コンクリート表面が θ_c なる温度変動をした場合、コンクリート表面から鉄筋まで温度分布が直線的に変化し、かつひびみ分布が全断面一様であると仮定すれば、図1に示すようなモデルの鉄筋長さ方向のコンクリート応力 σ_c は、

$$\sigma_c = \frac{nPE_c}{1+nP} \left\{ \alpha_s \theta_s - \frac{1}{2} \alpha_c (\theta_s + \theta_c) \right\}$$

で表わされる。ここで、 n :鉄筋とコンクリートの弾性係数比、

P :鉄筋とコンクリートの断面積比、 E_c :コンクリートの弾性係

数、 α_s 、 α_c :鉄筋、コンクリートの熱膨張係数である。 $\alpha_s = \alpha_c$ 、 $1.5\alpha_c$ 、 $2\alpha_c$ で鉄筋とコンクリートの温度差 $\pm 5^\circ\text{C}$ の場合、コンクリート表面温度 θ_c がある均衡状態から変動した時のコンクリート応力 σ_c の変化計算結果を図1に示す。同図より $\alpha_s = 1.5 \sim 2\alpha_c$ 、すなわち高マンガン鋼鉄筋の場合、コンクリート表面に 50°C の温度変動がある時コンクリート応力は普通鉄筋より10~20倍大きな値で、 $nP = 0.02 \sim 0.07$ に対してコンクリート応力は $4 \sim 15\text{ kg/cm}^2$ に達する。この値はコンクリートのひびわれに対しては余裕があるが、付着応力に対しては異形鉄筋として用いる方が望ましい。なお、前節と同じコンクリートでガイドウェイの実物大突起供試体($\phi 40\text{ cm}$ 、高さ 40 cm の内筒形で軌道中心の役目)に $20 \sim 70^\circ\text{C}$ の熱サイクルを4回与えた結果、ひびわれは観測されなかった。

3.3 鉄筋の接触抵抗

推進移動体の磁界が鉄筋をきることによって鉄筋に誘導電流が発生し、この電流が移動体にフレーキ力として作用する。このフレーキ力は鉄筋の電気抵抗が大きい程小さい。鉄筋は一般に棒組状で使われるので、鉄筋自体の抵抗値の他に接触抵抗も加へておく必要がある。表3に接触抵抗の測定結果を示すように、コンクリート打設後3週間目の接触抵抗は高マンガン鋼鉄筋の方がSD35鉄筋より2倍大きい値である。

3.4 疲労強度

表1の(W) $\phi 10$ 、 $\phi 13\text{ mm}$ 、(S) $\phi 10\text{ mm}$ 異形直角フシの高マンガン鋼鉄筋の引張疲労強度を求めた。全数で16本でデータ数は少ないが、200万回疲労強度は 5% 破壊確率で 23.5 kg/mm^2 を示し、引張強度の約25%である。この疲労強度は普通異形鉄筋の場合と同程度で少

が。まとめ

以上の検討結果より高マンガン鋼異形鉄筋は、ガイドウェイのような磁気の影響を考慮すべきコンクリートの鉄筋として、使用温度と誘導磁化の程度に留意すれば、SD35鉄筋のかわりとして実用上問題は無いであろう。

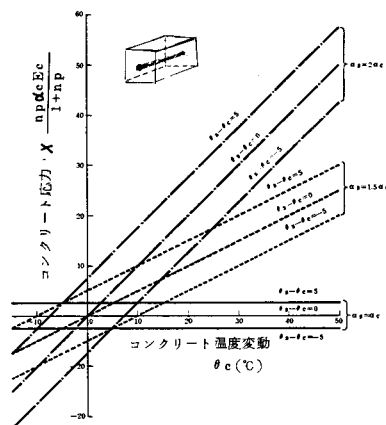


図1 鉄筋コンクリートの熱応力

表3 鉄筋の接触抵抗

鋼種	電圧	接触抵抗値 $\times 10^{-4} \Omega$			
		普通鉄筋 コンクリート 未打設	水中養生 1週間後	大気暴露 2週間後	大気暴露3週間後 測定値
S	直径つき	50	—	11.3	10.3
	100	3.4	4.4	4.3	4.5
	150	3.4	3.3	3.2	3.6
D	ヤビつき	50	1.9	4.4	6.3
	100	2.2	2.8	2.9	3.2
	150	1.6	1.7	1.9	1.9
高マンガン鋼 O形D	直径つき	50	19.3	16.3	19.3
	100	1.7	13.3	17.3	9.3
	150	1.2	—	7.3	8.3

比電気抵抗測定値(35℃)

SD35鉄筋 $\phi 16\text{ mm}$ (異形) $2.93 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$

高マンガン鋼 $\phi 20\text{ mm}$ (丸棒) $2.64 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$

接触抵抗測定供試体

コンクリート

200

早強ポルトランドセメント使用

水・セメント比 50%