

[1030] 熱を受けたコンクリートと鉄筋との付着強度・圧縮強度・ヤング係数

正会員 ○横室 隆（足利工業大学工学部）

正会員 依田彰彦（足利工業大学工学部）

1. 研究目的

本研究はコンクリート打込み後7日、28日、6ヶ月に不幸にして火災が発生した場合を想定し、コンクリートと鉄筋との付着強度をはじめ、圧縮強度、ヤング係数が、どのように変化（低下）するかを知ることを目的として実施した。

2. 使用材料

本実験研究に用いた材料は次の通りである。

- a. セメント：普通ポルトランドセメント（C社製）、高炉セメントB種（Y社製）
- b. 骨材：砂および砂利（鬼怒川産）
- c. 化学混和剤：主成分がリグニンスルホン酸塩とポリオール複合体のAE減水剤（N社製）
- d. 水：足利工業大学自家用水
- e. 鉄筋：普通丸鋼（φ19）（J社製）および異形鉄筋（D19）（T社製）
- f. 使用材料の品質：表-1～4に示す。

表-1 使用セメントの品質

セメント 種類	化 学 成 分 (%)			物 理 的 性 質							
	ig.loss	MgO	SO ₃	比 重	比 表 面 種 (cm ² /g)	凝 結		安 定 性	圧縮強さ(kgf/cm ²)		
						始 発 (min)	終 結 (h-m)		3 d	7 d	28d
普通ポセ 高炉B種	0.6	1.4	2.1	3.16	3290	150	3-35	良	158	263	417
	0.9	3.6	2.0	3.03	3720	190	4-20	良	107	190	415

表-2 使用骨材の品質

骨 材 種 類	絶乾 比重	吸水 率 (%)	粘土 塊量 (%)	洗 い 損失量 (%)	単位容 積重量 (kg/l)	ふるいを通るものの重量百分率 (%)								
						ふるいの呼び寸法 (mm)								
						25	20	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
川 砂	2.52	2.3	0.3	0.7	1.61	—	—	—	100	90	67	41	16	2
川砂利	2.57	1.8	0.1	0.7	1.70	100	83	39	5	0	—	—	—	—

表-3 使用水質

項 目	品 質
色	度 5度以下
濁	度 2度以下
水 素 イ オ ン 濃 度 (pH)	6.5
蒸 発 残 留 物	173ppm
塩 素 イ オ ン	15.3ppm
過マンガン酸カリウム消費量	0.6ppm

3. 実験計画

3.1 実験項目と方法

a. コンクリートと鉄筋との付着強度：供試体の中心部にφ19または、D19の鉄筋各1本を埋込んだ直径10cm高さ20cmの円柱供試体（写真-1参照）を、最高温度1200℃の電気炉（写真-2参照）に入れ、3.2に示す所定の温度に約15℃/minの割合であげ3時間保持し、その後自然に徐冷した場合と3時間加熱後直ちに20℃水中へ1時間浸漬し、その後自然に徐冷した場合について加熱・徐冷した翌日にASTM C 234（Standard Method of Test for Comparing Concretes on the Basis of

の温度に約15℃/minの割合であげ3時間保持し、その後自然に徐冷した場合と3時間加熱後直ちに20℃水中へ1時間浸漬し、その後自然に徐冷した場合について加熱・徐冷した翌日にASTM C 234（Standard Method of Test for Comparing Concretes on the Basis of

the Bond Developed with Reinforcing Steel)に準じ、引抜法によるコンクリートと鉄筋の付着強度の測定をした。

b. 圧縮強度・ヤング係数：直径10cm高さ20cmの円柱供試体を用いて前記aの供試体と一緒に電気炉へ入れ、加熱・徐冷した翌日にJIS A 1108（コンクリートの圧縮強度試験方法）に準じた圧縮強度と併せてコンプレッソメーターを用いて歪も測定し、最大荷重1/3の点のヤング係数を求めた。

3.2 受熱材令と所定の温度 受熱材令は7日、28日、6ヶ月とし、また、所定の温度とは写真1～2に示した通りコンクリート中に埋め込んだ鉄筋の温度で100℃、300℃、500℃、600℃、700℃とした。

さらに比較のために20℃の場合についても実験した。

3.3 目標とした調合

a. W/C：50%，60%

b. スランプ：18cm

c. 空気量：4%

3.4 コンクリートの練り混ぜ、その他の条件

コンクリートの練り混ぜはJIS A 1138（試験室におけるコンクリートの作り方）によった。なお、骨材は表乾状態のものを、ミキサは100ℓの強制攪拌式ミキサ（S社製）を、それぞれ用いた。スランプおよび空気量の測定はJIS A 1101（コンクリートのスランプ試験方法）およびJIS A 1128（まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法

（空気室圧力方法）

によった。ワーカビリチーの判断はスランプ試験をしたコンクリートの形状などによった。

また、供試体の製作はJIS A

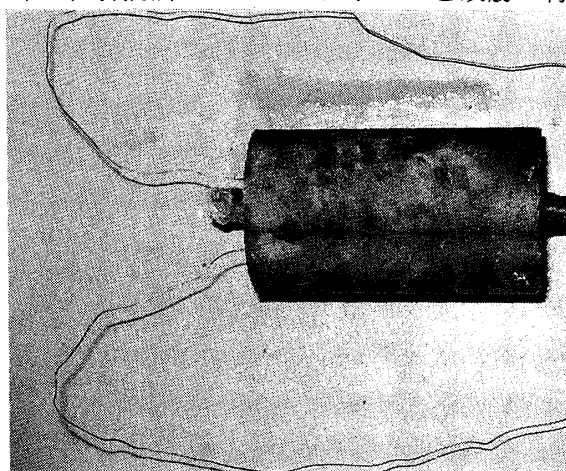


写真1 円柱供試体に埋め込んだ鉄筋と熱電対

表4 使用鉄筋の品質

区 分		降 伏 点 (kgf/mm ²)	引張強度 (kgf/mm ²)	伸 び (%)	破断 箇所	種類の記号
φ19	1	33.2	44.9	35.1	B	S R 24
	2	32.5	44.8	34.5	A	
D19	1	36.6	55.8	26.1	B	S D 30 A
	2	36.6	55.6	25.6	A	

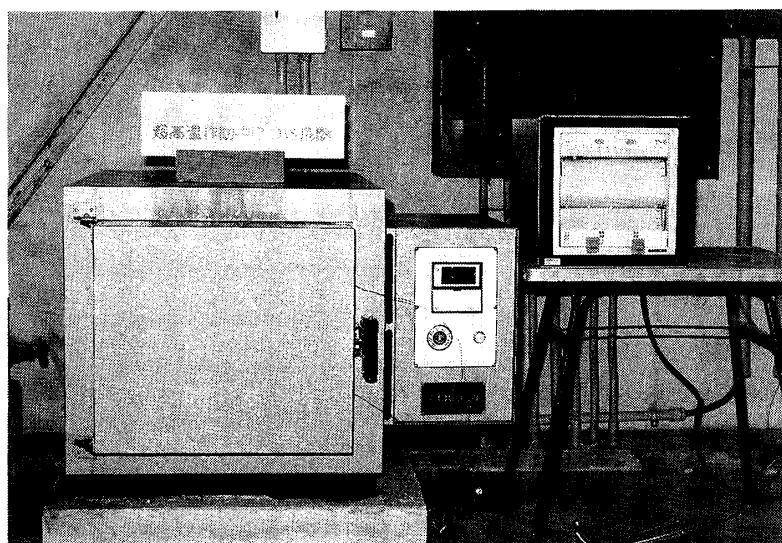


写真2 実験に用いた電気炉

表5 実際に得られたコンクリートの調合

セメント 種 類	W/C (%)	スラ ンプ (cm)	空気量 (%)	ワーカ ビリチー	S/a (%)	単 位 水 量 (kg/m ³)	川砂利の かさ容積 (m ³ /m ³)
普通ポセ	50	18.0	3.9	良	37.6	158	0.67
	60	18.0	4.8	良	40.3	156	0.65
高炉B種	50	16.5	3.9	良	38.1	152	0.67
	60	16.5	4.2	良	40.8	150	0.66

表一6 実験結果 (その1)

セメント	W/C (%)	実験項目 (単位 kgf/cm ²)	使用鉄筋	材令7日に熱を受けたもの					
				温度 (°C)					
				20	100	300	500	600	700
普通ポセ	60	付着強度	D19	59.4 (56.3)	56.3 (52.6)	46.7 (44.0)	40.4 (39.3)	— (25.6)	— (13.2)
		圧縮強度	—	160 (157)	186 (158)	136 (138)	94 (82)	— (44)	— (43)
		ヤング係数 ($\times 10^5$)	—	2.4 (2.2)	2.0 (2.0)	1.0 (0.7)	0.3 (0.2)	— (0.1)	— (0.1)
高炉B種	60	付着強度	D19	63.5 (57.6)	61.5 (54.3)	43.6 (41.1)	40.7 (36.5)	— (24.2)	— (17.3)
		圧縮強度	—	119 (103)	164 (144)	107 (105)	79 (75)	— (56)	— (51)
		ヤング係数 ($\times 10^5$)	—	1.8 (1.7)	1.8 (1.7)	1.1 (0.6)	0.3 (0.2)	— (0.1)	— (0.1)

〔注〕 () 内の値は所定の温度に3時間さらした後、20°C水中へ1時間入れたもので、これは消火のために散水することを想定したものである。

1132 (コンクリートの強度試験用供試体の作り方) に準じた。

4. 実験結果と検討

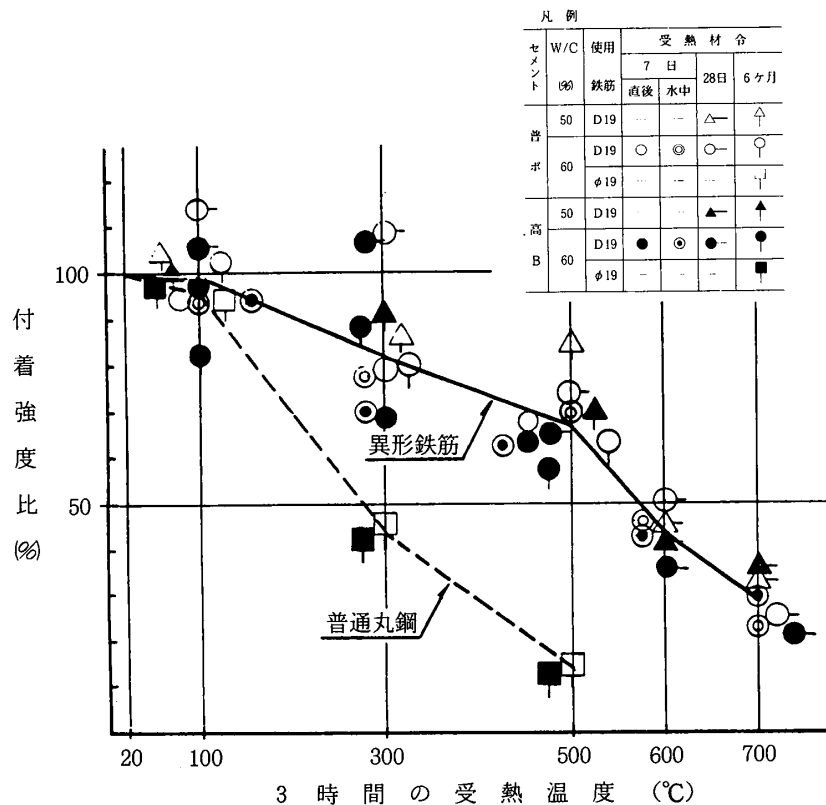
表一5～8および図1～3に例示し、以下に検討する。

a. 打込んだコンクリートのワーカビリティはすべて良好であった。

b. 100～700°Cの熱を3時間受けるとコンクリートと鉄筋の熱膨張係数が異なるためかコンクリートと鉄筋との付着強度は低下する。とくに高い温度の熱ほど、この傾向は著しい。また異形鉄筋と普通丸鋼では後者の低下が大きい。

付着強度の絶対値を

見るとセメント種類別では高炉セメントB種が、水セメント比別では小さい方が、受熱後自然徐冷に伴い20°C水中へ1時間入れたものと入れないものとでは後者が、受熱材令別では長期材令ほど、鋼材別では異形鉄筋が、受熱温度別では低い温度ほど、いずれも大きい。しか



図一1 20°Cの付着強度を100%とした場合の付着強度比と受熱温度との関係

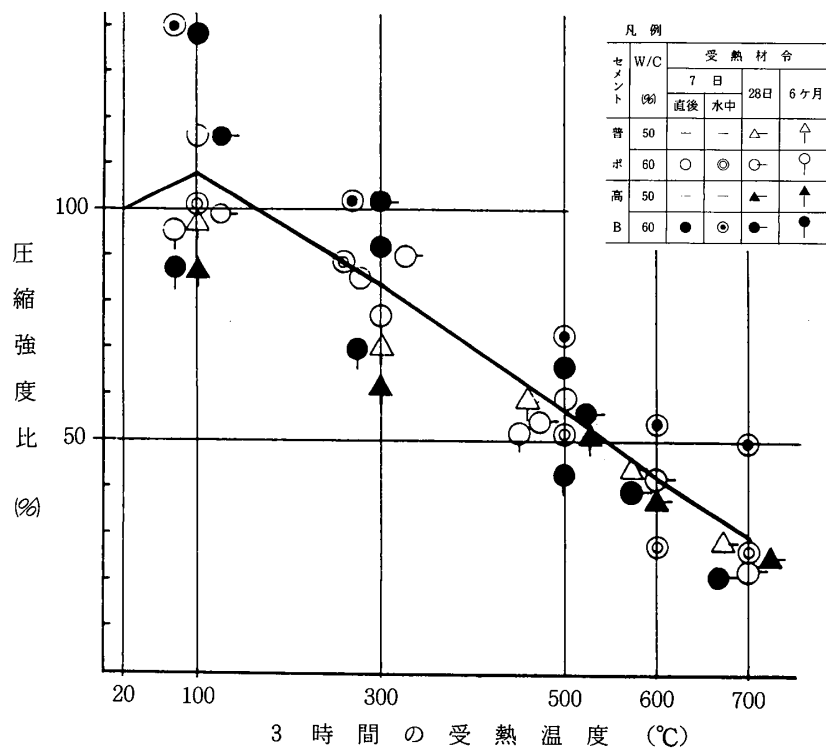
し20℃の付着強度を100として他の高い温度の付着強度比を見ると、図一1のようにセメント種類別、水セメント比別、受熱後の自然徐冷に伴う水中への投入の有無の差はほとんどなくなり、異形鉄筋の場合と普通丸鋼の場合それぞれの線で表わすことができる。

表一7 実験結果 (その2)

セメント	W/C (%)	実験項目 (単位 kgf/cm ²)	使用鉄筋	材令28日に熱を受けたもの 温度 (°C)					
				20	100	300	500	600	700
普通ポセ	50	付着強度	D19	84.4	—	—	—	37.8	28.2
		圧縮強度	—	309	—	—	—	137	85
		ヤング係数 (×10 ⁵)	—	3.0	—	—	—	0.2	0.2
	60	付着強度	D19	82.7	94.3	90.1	61.1	36.3	20.8
		圧縮強度	—	228	226	204	123	96	49
		ヤング係数 (×10 ⁵)	—	2.7	2.4	1.2	0.4	0.2	0.1
高炉B種	50	付着強度	D19	84.4	—	—	—	34.9	30.0
		圧縮強度	—	329	—	—	—	121	83
		ヤング係数 (×10 ⁵)	—	2.9	—	—	—	0.2	0.1
	60	付着強度	D19	93.5	99.2	100.0	61.8	33.8	20.1
		圧縮強度	—	238	277	242	130	92	49
		ヤング係数 (×10 ⁵)	—	2.8	2.3	1.2	0.4	0.2	0.1

ちなみにその平均的な低下率 (100% から各温度における付着強度比 (%)) を差引いたものは異形鉄筋の場合 100℃で1%, 300℃で14%, 500℃で32%, 600℃で58%, 700℃で74%である。また、普通丸鋼の場合 100℃で4%, 300℃で57%, 500℃で87%である。

c. 100~700℃の熱を3時間受けるとコンクリートの圧縮強度はコンクリート供試体の組織がゆるむためか低下する。とくに高い温度ほどこの傾向は著しい。圧縮強度の絶対値を見るとセメント別では熱を7日に受けた場合は普通ポルトランドセメントが、熱を28日、6ヶ月に受けた場合は高炉セメントB種が大きく、他の要因による傾向は上記bと同じである。いま、20℃の圧縮強度を100として他の高い温度の圧縮



図一2 20℃の圧縮強度を100%とした場合の圧縮強度比と受熱温度との関係

強度比を1本の線で表わすことができる

(図-2)。

ちなみに、その平均的な低下率(100%から各温度における圧縮強度比(%))を差引いたものは100℃で108%, 300℃で17%, 500℃で44%, 600℃で59%, 700℃で71%である。

d. 100~700℃の熱を3時間受けるコンクリートのヤング係数は上記cと同じような理由から低下し、その傾向はcと同様であるが、低下の程度は圧縮強度より大きい。いま20℃のヤング係数を100として他の高温のヤング係数比を1本の線で表わすことができる(図-3)。

ちなみにその平均的な低下率(100%から各温度におけるヤング係数比(%))を差引いたものは100℃で16%, 300℃で63%, 500℃で86%, 600℃で94%, 700℃で95%である。

e. コンクリートと鉄筋との付着強度、圧縮強度、ヤング係数の中で受熱温度に伴う比が最も小さいのがヤング係数と普通丸鋼の付着強度で

表-8 実験結果 (その3)

セメント	W/C (%)	実験項目 (単位 kgf/cm ²)	使用鉄筋	材令6ヶ月に熱を受けたもの			
				温度 (°C)			
				20	100	300	500
普通ポセ	50	付着強度	D19	105.8	110.1	90.9	88.6
		圧縮強度	—	342	333	241	202
		ヤング係数 (×10 ⁵)	—	3.5	2.6	1.0	0.7
	60	付着強度	φ19	42.0	39.9	19.0	6.0
		圧縮強度	D19	93.5	95.1	74.7	60.1
		ヤング係数 (×10 ⁵)	—	2.9	2.3	0.9	0.4
高炉B種	50	付着強度	D19	123.5	122.9	113.5	86.3
		圧縮強度	—	418	364	258	213
		ヤング係数 (×10 ⁵)	—	3.6	2.6	1.0	0.7
	60	付着強度	φ19	45.1	43.9	18.7	5.7
		圧縮強度	D19	118.2	97.3	103.7	67.9
		ヤング係数 (×10 ⁵)	—	3.3	2.4	0.9	0.4

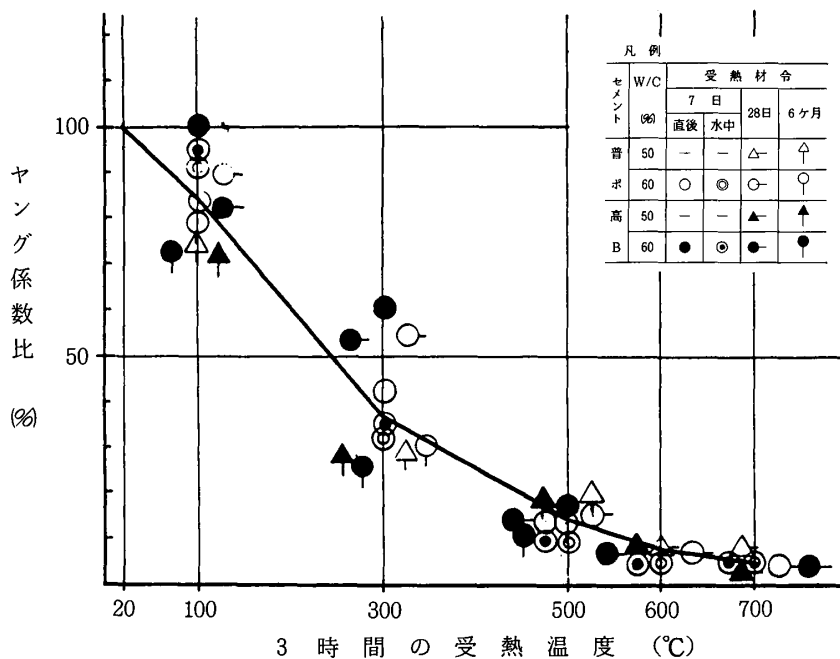


図-3 20℃のヤング係数を100%とした場合のヤング係数と受熱温度との関係

大略同程度である。

次が圧縮強度と異形鉄筋の付着強度で大略同程度である。すなわち，2つのグループ（傾向）になることが認められた。

5. 結論

本研究から結論として次のことがいえよう。

3時間程度でも，高温の熱を受けるとコンクリートと鉄筋との付着強度をはじめ，圧縮強度，ヤング係数は低下する。とくに温度が高くなるとこの傾向が著しくなることが明らかとなり，定量的資料を把握することができた。

謝 辞

本実験研究には本学卒業生の川島俊美補助員をはじめ，卒業生の秋葉洋一，今井昌年，金子祐介，杵渕宣明，斎藤隆，武田章治，土屋智基，戸室美智子，藤沢正，山崎健志君らのご協力をいただいた。ここに付記して謝意を表する。