鋼繊維補強コンクリートの高温時力学特性に関する研究

MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE AT HIGH TEMPERATURE

菊地 毅之^{*1}, 新谷 祐介^{*2}, 平島 岳夫^{*3}, 河野 守^{*4}
*Takayuki KIKUCHI, Yusuke SHINTANI, Takeo HIRASHIMA
and Mamoru KOHNO*

In this study, high temperature compression tests of steel fiber reinforced concrete were conducted, and the influence of steel fiber on the mechanical properties at high temperature was investigated from the difference of the test results between steel fiber reinforced concrete and plain concrete. From results of these tests, compressive strength and absorbed energy of steel fiber reinforced concrete were larger than that of plain concrete at temperature below 500 °C. In addition, thermal strain ranging from 600 °C to 800 °C was lower for steel fiber reinforced concrete than for plain concrete.

Keywords : *Steel fiber reinforced concrete, High Temperature, Compressive strength, Absorbed energy, Thermal strain, Total strain*

鋼繊維補強コンクリート, 高温, 圧縮強度, 吸収エネルギー, 熱膨張ひずみ, 全体ひずみ

1. はじめに

鋼繊維補強コンクリートは, 短い鋼繊維をコンクリート中に一様に分散させることにより, コンクリートのひび割れに対する抵抗性・靱性・引張強度・せん断強度などを大幅に改善したコンクリートである。その特性を生かし, 建築・土木分野で広く利用されている。鋼繊維がコンクリートの引張強度および靱性などに及ぼす影響が明らかにされ, 鋼繊維補強コンクリートの常温時力学的特性に関するデータは比較的整理されている(例えば 1)~3)。さらに, 火災時における超高強度コンクリートの爆裂防止対策として, 有機繊維と鋼繊維を混入したコンクリート構造部材の耐火性能に関する研究も行われている 4) 5)。しかし, 鋼繊維補強コンクリートの高温時力学特性に関する研究は国内では皆無で, 海外においてもそのデータは少ない。

鋼繊維補強コンクリートの国内の関連研究としては, その加熱冷却後の特性を調べたものがある。岸谷ら 6)は, 鋼繊維補強コンクリートを 1 時間および 2 時間加熱し, 冷却後の圧縮強度・曲げ強度試験を実施し, 鋼繊維補強コンクリートは同調合のプレーンコンクリートよりも圧縮強度残存率が 1~2 倍, 曲げ強度残存率が 5~10 倍大きいことを示した。高野ら 7)は, ポリプロピレン繊維とハイブリッド混入した鋼繊維補強コンクリートの加熱冷却後の圧縮強度試験を実施し, 200℃・400℃での圧縮強度残存率の低下がポリプロピレ

ン繊維のみのコンクリートより小さいことを示し, 鋼繊維が圧縮強度残存率を改善する可能性を示し, また加熱後の破壊エネルギーの低下が少ないことを示した。一方, 海外では鋼繊維補強コンクリートの高温時力学特性に関する資料がある。Schneider ら 8)は, 一定高温下での応力-ひずみ関係および一定応力かつ温度漸増下での全体ひずみを示している。この資料によると, 鋼繊維補強コンクリートの場合, 150℃と 350℃の圧縮強度が大きく, また熱膨張ひずみが小さくなる傾向が示されている。Lie ら 9)の研究では, 鋼繊維の有無による初期剛性の差は見られなかったが, 400℃以下での圧縮強度は鋼繊維補強コンクリートの方がプレーンコンクリートよりも大きく, 熱拘束応力も同温度域で大きいことが示されている。以上, 海外では鋼繊維補強コンクリートの高温時特性に関する資料があるものの, 国内の研究は加熱冷却後の資料のみである。

そこで本研究では, 鋼繊維補強コンクリートの高温圧縮実験を実施し, 鋼繊維が高温時力学的特性に及ぼす影響を調べる。鋼繊維を混入しないプレーンコンクリートとの比較から, 鋼繊維の影響を調べる。具体的には, 一定高温下での荷重漸増実験により応力-ひずみ関係・圧縮強度・ヤング係数・破壊時におけるエネルギー(吸収エネルギー)を, 一定応力下の温度漸増実験より熱膨張ひずみと全体ひずみに関する比較を行う。

^{*1} 千葉大学工学部 技術職員/
東京理科大学工学研究科 大学院生
^{*2} 竹中工務店技術研究所 博士(工学)
^{*3} 千葉大学大学院工学研究院 教授・博士(工学)
^{*4} 東京理科大学大学院 教授・工博

Tech. Staff, Faculty of Eng., Chiba Univ. /
Grad. Student, Tokyo University of Science
Takenaka Research & Development Institute, Dr.Eng.
Prof., Graduate School of Eng., Chiba Univ., Dr.Eng.
Prof., Tokyo University of Science, Dr.Eng.

2. 実験概要

2.1 実験条件

実験条件を Table 1 に示す。表中の円は実施した試験体数を表している。主要因は、コンクリートの鋼繊維の有無である。本研究では、温度を変数とした高温時の一定温度下での荷重漸増実験（定常温度実験，ST tests）および応力レベルを変数とした一定応力下での温度漸増実験（応力一定温度漸増実験，TR tests）の2種類の実験を実施した。各実験の温度・ひずみ・応力の制御方法を Fig.1 にそれぞれ示す。定常温度実験では、試験体の温度（常温，100℃～800℃の100℃毎）を実験変数とし、目標温度まで加熱速度 1.5℃/min で加熱を行なった後に、試験体温度を一定に保ちながら破壊まで加力した。この結果より、応力-ひずみ関係・圧縮強度・ヤング係数・破壊時におけるエネルギー（吸収エネルギー）を比較する。応力一定温度漸増実験では、一定圧縮応力の大きさ（応力レベル 0～0.7）を実験変数とし、目標の圧縮応力を加えた後に温度を上昇させながら両端部の相対変位を測定し、熱膨張ひずみと全体ひずみを比較する。ここで応力レベルとは、高温圧縮試験機によるプレーンコンクリートの常温圧縮強度 64.5 MPa に対する圧縮応力の割合とした。応力一定温度漸増実験における応力レベル 0.0 の実験は、定常温度実験の 800℃の試験体加熱時に実施した。

2.2 試験体

試験体の形状および温度測定位置を Fig.2 に、試験体の使用材料を Table 2 に、調合を Table 3 に示す。本報告では鋼繊維を混入したコンクリートを SF と称し、鋼繊維を混入していない同調合のプレーンコンクリートを P と称す。SF には、直径 0.62 mm、長さ 30 mm のフック付鋼繊維¹⁰⁾を、施工性を考慮した際の上限を目安に体積比で 1%（質量比 3.5%）混入した。コンクリートは、普通コンクリートの上限となる 60MPa を目標に配合を定めた。28 日標準養生圧縮強度試験の結果は、SF が 61.4 MPa、P が 63.2 MPa であり、SF の方が約 3% 小さかった。本研究では水セメント比が 37% の石灰砕石による高強度コンクリートを用いた。養生方法は封緘養生とした。実験時の含水率（3 体平均値）は 4.5% であった。試験体は JIS A 1132 に基づいて作成された円柱試験体で、試験体寸法は既報¹¹⁾と同様、電気炉を用いて加熱する際に内部温度が均一になり、かつ直径が粗骨材の最大寸法の 3 倍以上となるように考慮し、直径 75mm、高さ 150 mm とした。試験体の内部に

は深さ 6 mm の位置に熱電対を挿入した。そのため直径 3.2 mm の穴をドリルで開け、そこに熱電対の先端を挿入し、伝熱セメントで固定した。常温試験体でも同様、穴を開ける加工を行った。

(a) Steady state tests (ST tests) (b) Transient tests (TR tests)

Fig.1 Control of Temp., strain and stress

Table 2 Employed materials

W	Ground water 地下水
C	Ordinary Portland cement (3.16 g/cm ³) 普通ポルトランドセメント
S	Fine aggregate (land sand) (2.59 g/cm ³) 茨城県神栖市産陸砂
A	Coarse aggregate (crushed limestone) (2.70 g/cm ³) 栃木県佐野市産石灰砕石
SP	Air entraining and high-range water reducing agent (1.04～1.12 g/cm ³) 高性能 AE 減水剤
SF	Steel fiber ¹⁰⁾ (specific gravity: 7.85) (φ0.62×30 mm, Tensile strength: 1270 MPa) 鋼繊維

Table 3 Mix proportion

W/C [%]	S/A [%]	Unit mass [kg/m ³]					SF Vol・%
		C	W	S	A	SP	
37.0	47.8	459	170	811	923	5.28	1.00

Table 1 Test program

Steady state tests (ST tests)									
Concrete type	Constant Temperatures [℃]								
	20	100	200	300	400	500	600	700	800
Steel fiber reinforced concrete (SF)	○○○	○	○	○	○	○	○	○	○
Plain Concrete (P)	○○○	○	○	○	○	○	○	○	○
Transient tests (TR tests)									
Concrete type	Constant Stress levels								
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	
Steel fiber reinforced concrete (SF)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Plain Concrete (P)	○	○	○	○	○	○	○	○	○

2.3 実験方法

実験装置を Fig.3 に示す。実験装置は既報¹⁾で使用したものと同一装置である。試験体の加熱は電気炉で行い、試験体への载荷は油圧ジャッキで行った。試験体のひずみは、試験体の上下に設置された変位計に石英管を介して計測を行い、上面の変位と下面の変位の差を試験体の長さで除した値とした。载荷の制御は 0.6 MPa/min とし、温度計測は Fig.2 に示す 7 点とした。熱電対は、セラミック被覆を施した素線径 0.65 mm の K 熱電対を用いた。コンクリート内部温度の昇温速度は、定常温度実験・応力一定温度漸増実験ともに 1.5°C/min とした。試験体の内部温度を均一化するために最低 1 時間保持し、目標温度を試験中も保持した。

2.4 試験体温度

Fig.4 に 800°C の実験より得た温度・時間関係を示す。加熱電気炉は上部と下部にヒーターが配置され、加圧治具接触部からの熱伝導による加熱を行った。この加熱方向によると、円柱試験体の半径方向の温度はほぼ均一になるが、材軸方向に温度勾配が生じ、試験体中央部 (T3) がやや低い温度になる。Fig.5 に定常温度実験の実験前の試験体温度を示す。温度計測結果を試験体高さに合わせて直線で結んだ。高温になるほど、試験体端部と中央部の温度差が大きくなる傾向は、SF と P で同様であった。特に 500°C でその差が大きかったが、加熱開始時の室温が他の実験より低かったため中央部の温度上昇が遅くなりその温度差が大きくなったと考えられる。以上に示した、温度計測点 5 点 (T1~T5) の平均値をコンクリートの試験体温度とした。Fig.6 に定常温度実験の各温度帯の試験体温度を示す。試験体温度 (平均値) と目標温度の誤差はすべて 5°C 以内であった。

Fig.2 Test specimen

Fig.3 Test set up

Fig.5 Temperature distribution of axis direction

(a) Plain concrete 800°C

(b) Steel fiber reinforced concrete 800°C

Fig.4 Temperature control

(a) Plain concrete

(b) Steel fiber reinforced concrete

Fig.6 Temperature control (Average)

3. 定常温度実験

3.1 応力-ひずみ関係

温度毎の応力-ひずみ関係を Fig.7 の(a) ～ (i) に示す。試験体の破壊によって変位の計測が不可能となる直前の点に印をつけている。加熱時に生じた熱膨張ひずみは含まない。200℃では、途中で変位の計測不良と思われる箇所 (P の 35 MPa, SF の 54MPa など) があるが、参考値として比較する。常温試験は1体ずつを掲載する。

全体を概観すると、SF は P とともに、温度の増加に伴い強度とヤング係数が低下した。100℃～600℃の高温時では、圧縮強度以降に破壊した際のひずみ(破壊時ひずみ)が SF と P で大きく異なり、SF の破壊時ひずみが P よりもかなり大きかった。700℃と 800℃では、SF と P の違いが小さかった。

3.2 圧縮強度

圧縮強度の結果を Fig.8 に示す。高温加熱圧縮試験機で得た、常温圧縮強度の3体の平均値は、P が 64.5 MPa, SF が 64.3 MPa でほぼ同じであった。SF と P とともに、100℃で常温圧縮強度の 7 割程度まで低下するが、300 ℃で 9 割近くまで回復し、300 ℃以上は温度上昇に伴い低下した。500 ℃で常温強度の 6 割、800℃で 3 割まで低下し、Eurocode2¹²⁾および AIJ 耐火性ガイドブック提案値¹³⁾による高温強度残存率に近い値を示した。SF は P よりも 200℃～400℃の圧縮強度が高く、500 ℃以上での差は小さかった。この傾向は既報^{8), 9)}による結果と同様である。高野ら⁷⁾は、200℃以上における骨材の膨張とセメントの収縮に起因する微細亀裂を、鋼繊維が抑制することにより、圧縮強度の低下が抑制される可能性を指摘し

Fig.7 Stress-Strain relationship

ている。一方、さらに高温になると、鋼繊維の強度低下と付着の低下により、鋼繊維の効果が低下すると考えられる。本実験では 600℃ において SF の圧縮強度が P よりも大きかったが、P の 600℃ よりも 700℃ の圧縮強度が大きかったことから、P の試験体の個体差によるものとし、500℃ 以上の圧縮強度は同等であったと考察する。

3.3 ヤング係数

ヤング係数の結果を Fig.9 に示す。ヤング係数は、圧縮強度の 1/10 から 1/3 の間における割線弾性係数とした。常温は平均値を用いた。鋼繊維の有無にかかわらず、温度上昇に伴いヤング係数が低下し、200℃～800℃のヤング係数はほぼ同じであった。100℃で SF の方が P より小さいのは、変位測定の見誤差が考えられる。既往研究の傾向からは、SF の値が小さくなっていると考えられ、これが鋼繊維の影響とは特定しがたい。ヤング係数残存比は AIJ 耐火性ガイドブック提案値¹³⁾と同様であった。

Fig.8 Compressive strength

Fig.10 Absorbed energy

3.4 吸収エネルギー

試験体が圧縮破壊までに蓄積されるエネルギーを「吸収エネルギー (Absorbed energy)」とし、式 (1) により得られた結果を Fig.10 に示す。また破壊時ひずみを Fig.11 に示す。100℃～500℃では、破壊時ひずみは SF の方が大きく、吸収エネルギーが P の約 2 倍であった。500℃の圧縮強度は変わらないが、破壊時ひずみは SF の方が大きく、吸収エネルギーの違いが顕著であった。鋼繊維を入れることで、吸収エネルギーが増大し、破壊に至るまで粘り強い性質となったと考えられる。ただし、破壊時ひずみを含め圧縮強度後の挙動は、試験機の剛性に強く影響する。よって圧縮強度時の圧縮強度発現後の挙動を特定することは難しいが、同試験機の破壊時ひずみの違いにより、SF の方が P よりも粘り強くなる傾向を示した。

$$E = \int_0^{\epsilon_f} \sigma d\epsilon \cdots (1)$$

E : Absorbed energy (MPa) σ : Stress (MPa)
ε : Strain ε_f : Fracture strain

Fig.9 Young's modulus

Fig.11 Fracture strain

(a) Plain concrete

(b) Steel fiber concrete

Fig.12 Test specimen and Steel fiber after fracture

3.5 破壊後の試験体

Fig.12 に各実験の破壊後の試験体および鋼繊維を示す。鋼繊維の有無に関わらず、試験体上部から下部に連なる縦もしくは斜めのひび割れが発生し破壊した。P では、大きなひび割れが多く、破壊後に試験機から取り出す際、試験体が 2 つ以上に分離した。SF では、フックの引っ掛かりがひび割れ間をつなぎ留め、2 つ以上に分離しない傾向にあった。破壊後の鋼繊維は温度上昇に伴い軟化¹³⁾し、600℃以上の試験体の鋼繊維は常温に比べて大きく変形し、手でも曲げることが可能な硬さであった。これにより 600℃以上では、鋼繊維の効果が低下したと考えられる。

4. 応力一定温度漸増実験

4.1 熱膨張ひずみ

熱膨張ひずみ（無応力下におけるひずみ）を Fig.13 の(a)に示す。鋼繊維の有無による熱膨張ひずみの違いは、常温～500℃までは小さく 600℃以上で P の方が SF よりも大きい傾向を示した。500℃

以上では鋼材（鋼繊維）よりもコンクリートの線膨張係数が大きくなる傾向にあるため、鋼繊維が含まれる SF は P よりも熱膨張ひずみが小さくなる可能性がある。

4.2 全体ひずみ

得られた全体ひずみを Fig.13 の(b)～(h)に示す。試験体の破壊によって変位の計測が不可能となる直前の点に印をつけている。鋼繊維の有無に関わらず、応力レベル 0.3 以下は 800℃まで荷重を支持し、応力レベル 0.4 以上では圧縮ひずみの増加に伴い 800℃以下で破壊した。応力レベル 0.4～0.6 は SF と P で破壊温度の違いはみられなかった。応力レベル 0.7 は、Fig.8 に示すように常温時の圧縮強度に対する 100℃での圧縮強度の残存率にちょうど対応する値である。強度低下時に荷重を支持できず 78℃で破壊した。一方、SF は 470℃近くまで荷重を支持し、高荷重下において、SF と P の違いが顕著に表れた。Fig.7 の(b)および Fig.10 に示すように、P と比べて SF の方が 100℃における吸収エネルギーが大きく、このわずかな靱

Fig.13 Total Strain

性の差が破壊温度に大きな影響を与えたと考えられる。

5. まとめ

本報告では、鋼繊維補強コンクリートの高温時力学特性を把握するため、鋼繊維補強コンクリート（SF）と同調合のプレーンコンクリート（P）について定常温度実験と応力一定温度漸増実験を実施し、鋼繊維がコンクリートの高温時力学特性に及ぼす影響を調べた。以下にその結果をまとめる。

- 1) SFはPよりも200℃～400℃の圧縮強度が大きく、500℃以上の圧縮強度は同程度であった。高温時のヤング係数について鋼繊維の有無による顕著な違いは見られなかった。
- 2) 吸収エネルギーは、100℃～500℃の間でSFはPよりも大きく、500℃で差が最も大きくなったが、鋼繊維が高温になるにつれて軟化し、破壊時ひずみをPよりも向上させる効果がなくなり、600℃以上での差は比較的小さかった。
- 3) 600℃～800℃の熱膨張ひずみは、SFの方がPよりも小さい値を示した。
- 4) 応力一定温度漸増実験での応力レベル0.7では、SFが477℃まで荷重を支持した一方、Pは78℃で破壊した。1体だけの結論ではあるが、高荷重下において鋼繊維の有無による違いが大きくなる可能性が示された。

本報で圧縮強度に違いがあった200℃～400℃間や、破壊温度に違いがあった高荷重下での鋼繊維の影響について引続き実験・解析を通して調査をするともに、鋼繊維の効果が見込める割裂強度や曲げ強度を把握するための実験、柱や梁部材の載荷加熱実験を今後実施していきたい。また本研究の結果が爆裂防止に対してどの程度寄与するのか、今後検討していきたい。

謝辞

本研究は千葉大学と株式会社竹中工務店との共同研究として行われたものです。関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) JCI : Concrete handbook [second edition], 1996.2 (in Japanese)
日本コンクリート工学協会 (日本コンクリート工学会): コンクリート便覧 [第2版], 技報堂, 1996.2
- 2) Kobayashi, K., Takewaka, K. : Concrete engineering[sixth edition], 2016.7 (in Japanese)
小林一輔, 武若耕司: 最新コンクリート工学 (第6版), 森北出版, 2016.7
- 3) Kanakubo, T. : Introduction of Researches on Structural Applications of Fiber Reinforced Cementitious Composites, Concrete Journal, Vol.50, No.5, pp.433-437, 2012 (in Japanese)
金久保利之: 繊維補強コンクリートの構造部材への適用に関する研究の現状, コンクリート工学, Vol.50, No.5, pp.433-437, 2012
- 4) Mitsui K., Yonezawa T., Kojima M., Mihashi H. : EFFECT OF INCORPORATING ORGANIC AND STEEL FIBER ON FIRE RESISTANCE OF 80 TO 200N/mm² HIGH STRENGTH CONCRETE COLUMNS, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), Vol.75, No.648, pp.461-468, 2010.2 (in Japanese)
三井健郎, 米澤敏男, 小島正朗, 三橋博三: 設計基準強度 80～200N/mm² 超高強度コンクリート柱の耐火性能に及ぼす有機繊維および鋼繊維の影響に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.75, No.648, pp.461-

468, 2010.2

- 5) Kawanishi T., Yashiro T., Tanaka Y., Kobayashi K. : Fire Resistance of Steel Fiber Reinforced Concrete by Polypropylene Fiber, Concrete Research and Technology (Published by JCI), Vol.30, No.1, pp.333-338, 2008 (in Japanese)
川西貴士, 屋代勉, 田中善広, 小林一博: ポリプロピレン短繊維による鋼繊維補強コンクリートの耐火性能に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.333-338, 2008
- 6) Kishitani K., Yoon S.H., Sugawara S., Koshiumi K. : Study on the fire resistance of steel fiber reinforced concrete, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Structures, pp. 25-26, 1982.7 (in Japanese)
岸谷孝一, 尹在煥, 菅原進一, 越海興一: 鋼繊維補強コンクリートの耐火性能に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造系, pp.25-26, 1982.7
- 7) Takano T., Horiguchi T., Saeki N. : FIRE-RESISTANCE OF HIGH STRENGTH FIBER REINFORCED CONCRETE, Journal of JSCE, Vol.63, No.3, pp.424-436, 2007.7 (in Japanese)
高野智宏, 堀口敬, 佐伯昇: 高温加熱を受ける高強度鋼繊維コンクリートの耐火性能について, 土木学会論文集 E, Vol.63, No.3, pp.424-436, 2007.7
- 8) Schneider U., Morinaga S., Yamazaki Y., Hayashi S. : Behavior of concrete at High Temperature, 1983.12 (in Japanese)
U. シュナイダー著, 森永繁, 山崎庸行, 林章二訳: コンクリートの熱的性質, 技報堂, 1983.12
- 9) Lie T.T., Kodur V.K.R. : Mechanical Properties of Fibre-Reinforced Concrete at Elevated Temperature, NRC-CNRC Internal Report No.687, 1995.2
- 10) Bekaert : Dramix 3D technical documents (4530BG EN)
< <https://www.bekaert.com/en/product-catalog/content/dop/dramix-3d-technical-documents> >, Reference 2019.5.24
- 11) Yamashita H., Tokoeda M., Suzuki S., Shiraiwa M., Hirashima T. : INFLUENCE OF CURING CONDITION AND WATER CEMENT RATIO ON MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE IN HIGH TEMPERATURES Influence of water content on properties of concrete in high temperatures Part 1, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), Vol.81, No.720, pp.385-393, 2016.2 (in Japanese)
山下 平祐, 常世田 昌寿, 鈴木 澄江, 白岩 昌幸, 平島 岳夫: コンクリートの高温時力学的特性に及ぼす養生条件と水セメント比の影響 コンクリートの高温時特性に及ぼす水分の影響 (その1), 日本建築学会構造系論文集, Vol.81, No.720, pp.385-393, 2016.2
- 12) Eurocode2 : Design of concrete structures Part1-2: General rules-Structural fire design, The European Standard EN1992-1-2, pp.26, 2004
- 13) AIJ : Guide book for fire-resistive performance of structural materials, 2017 (in Japanese)
日本建築学会: 構造材料の耐火性ガイドブック, 2017
- 14) Gabriel A. Khoury, Brian N. Grainer and Patrick J. E. Sullivan : Strain of concrete during first heating to 600℃ under load, Magazine of Concrete Research, Vol.37, No.133, pp.195-215, 1985.12

MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE AT HIGH TEMPERATURE

Takayuki KIKUCHI^{*1}, *Yusuke SHINTANI*^{*2}, *Takeo HIRASHIMA*^{*3}
and Mamoru KOHNO^{*4}

^{*1} Tech. Staff, Faculty of Eng., Chiba Univ. /

Grad. Student, Tokyo University of Science

^{*2} Takenaka Research & Development Institute, Dr.Eng.

^{*3} Prof., Graduate School of Eng., Chiba Univ., Dr.Eng.

^{*4} Prof., Tokyo University of Science, Dr.Eng.

This paper presents results of high temperature compression tests of steel fiber reinforced concrete. The influence of steel fiber on the mechanical properties at high temperature was investigated from the difference of the test results between steel fiber reinforced concrete and plain concrete. Although research on prevention of concrete spalling by means of mixing steel fibers has been conducted, there is no report on mechanical properties of steel fiber reinforced concrete at high temperature in Japan, and there are few such reports in foreign countries.

In this study, high temperature compression tests were performed using two types of concrete, i. e. steel fiber reinforced concrete (SF) and plain concrete (P). The tests consisted two kind of tests. One was load increasing tests under steady state at constant high temperatures (steady state tests, ST tests). Other was temperature increasing tests under constant stress (transient tests, TR tests). In case of ST tests, the parameter was specimen temperatures ranging from ambient temperature to 800 °C. While concrete was heated to the target temperature, heating rate was controlled at 1.5 °C/minute. While stress or strain of concrete increased, the concrete temperature was kept the target temperature. From ST test results, stress-strain relationship, compressive strength, Young's modulus and absorbed energy were compared between SF and P. In case of TR tests, the parameter was level of the constant compressive stress ranging from 0 to 0.7. After applying the target stress, specimen was heated and the relative displacement was measured. From TR test, the thermal strain and total strain were obtained.

Main findings of this paper were summarized as follows:

- (1) Compressive strength ranging from 200 °C to 400 °C was higher for SF than for P, meanwhile both the compressive strengths were approximately same above 500 °C. There was no significant difference in Young's modulus at high temperatures due to the presence or absence of steel fibers.
- (2) The absorbed energy of SF was larger than that of P between 100 °C and 500 °C, and the difference was the largest at 500 °C. On the other hand, the difference above 600 °C was relatively low.
- (3) The thermal strain ranging from 600 °C to 800 °C was lower for SF than for P.
- (4) Under stress level of 0.7 in TR tests, SF supported the load up to 477 °C, meanwhile P fractured at 78 °C. Under high load condition, the effect of steel fiber may be considerable.

(2019年6月10日原稿受理, 2019年9月19日採用決定)