

第1部門 AAM コンクリートを充填した CFT 短柱の圧縮荷重実験

京都大学大学院 学生員 ○富原 健渡 京都大学大学院 正会員 佐藤 顕彦
 京都大学大学院 正会員 北根 安雄 西日本高速道路(株) 正会員 福田 雅人
 西日本高速道路(株) 正会員 松井 俊吾 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征

1. はじめに

CFT(Concrete Filled Tube)構造とは、鋼管にコンクリートを充填した複合部材であり、その相互作用により、優れた耐荷性能と変形性能を発揮する。しかし、充填コンクリートの材料であるセメント製造時に排出される二酸化炭素は地球温暖化進行の一因となることが懸念される。そこで近年、セメントを使用しない代替材料として、アルカリ活性剤と活性フィラーの縮合重合反応によって生成される AAM(Alkali Activated Materials)コンクリートが注目されている。既往研究[1]では、アルカリ活性剤として粉体のメタケイ酸ナトリウム九水和物、活性フィラーとしてフライアッシュと高炉スラグ微粉末(GGBF)を用いた AAM コンクリートを作成し、その力学特性の調査が行われてきた。しかし、このメタケイ酸ナトリウム九水和物を用いた AAM コンクリートは、複合部材としての研究が進んでいない。そのため本研究では、優れた耐荷力や変形性能と脱炭素を両立した構造部材の提案として、AAM コンクリートを充填材として採用し、固化体充填円形鋼短柱の圧縮試験を実施し、その力学的特性について検討を行う。

2. 試験条件

2.1. 試験体

本研究では、高さ $L=240\text{ mm}$ 、外径 $D=120\text{ mm}$ 、板厚 $t=1.2\text{ mm}$ の径厚比 $D/2t=50$ の円形 SPCC 鋼管を用いた。試験体の寸法および充填材を表-1 に示す。中空鋼管柱を Steel-50、AAM コンクリートを充填した CFT 短柱を AAM-50 と表記した。AAM コンクリートは、表-2 に示すパラメータを用いて配合した。また使用した SPCC 鋼材および AAM コンクリートの材料特性を表-3 に示す。

表-1 試験体パラメータ

	Steel-50	S-AAM-50
height L(mm)	240	240

diameter D (mm)	120	120
thickness t (mm)	1.2	1.2
filled material	AAM concrete	
number of specimens	3	3

表-2 AAM コンクリート配合パラメータ

parameters	definition (g/g)		value
水バインダー比	総水量/活性フィラー	%	40
細骨材率	細骨材/骨材	%	45
GGBF 置換率	GGBF/活性フィラー	%	60
アルカリ水比	Na ₂ O/総水量	%	10

表-3 材料特性

SPCC 鋼材	Mean	AAM コンクリート	Mean
破断伸び (%)	40.6	圧縮強度 (MPa)	40.2
上降伏点 (MPa)	231	ヤング率 (GPa)	28.9
引張強さ (MPa)	336	ポアソン比	0.197
ヤング率 (GPa)	202		
ポアソン比	0.320		

2.2. 荷重方法および測定項目

本研究では、圧縮荷重実験に、万能試験機(東京衝機製造所, 最大荷重 1000 kN)を使用した。また、データロガーは TDS-540(東京測器研究所)を用いた。ひずみゲージは図-1 に示すように貼付した。試験は、Steel-50 は変位制御で 0.5 mm/min になるように荷重を行い、S-AAM-50 は、圧縮応力度の増加が毎秒 $0.6 \pm 0.4\text{ N/mm}^2$ となるように荷重を行い、荷重、変位、ひずみを 1 秒ごとに測定した。

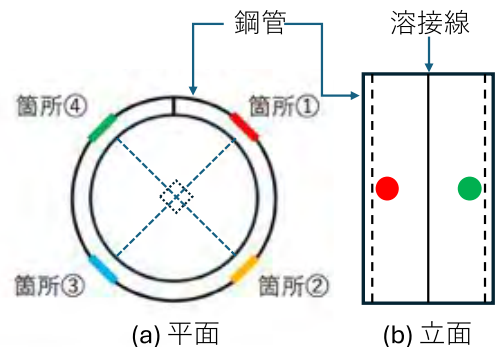


図-1 ひずみゲージ貼付位置

3. 実験結果

3.1. 破壊性状

写真-1に S-AAM-50 の破壊性状を示す。破壊モードは上部もしくは下部の局部座屈であったが、充填コンクリートのせん断すべり(約60度)が形成されたと推定される鋼管の変形が見られた。CFT 短柱を切断し、内部のコンクリートのすべり面を確認した。



写真-1 S-AAM-50-2 の破壊性状

3.2. 荷重-変位関係

図-2に Steel-50, S-AAM-50 の荷重-変位曲線を示す。鋼管に AAM コンクリートを充填することで、耐荷力の増加および変形性能の向上が確認された。Steel-50, S-AAM-50 のいずれも鋼管の座屈の進行とともに荷重の低下が見られた。

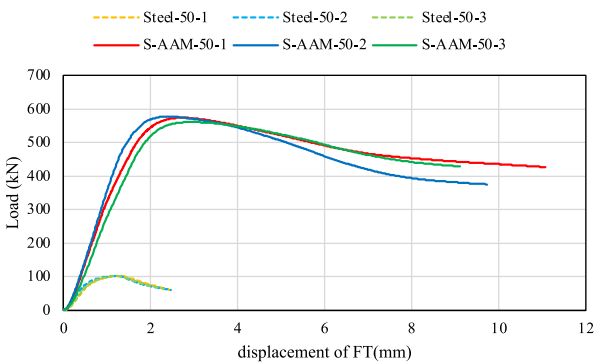


図-2 荷重-変位曲線

3.3. 鋼管の二軸応力経路曲線

図-3に Steel-50-1, 図-4に S-AAM-50-1 の鋼管の二軸応力経路曲線を示す。ここで σ_{sz} は鋼管の軸方向応力、 σ_{sh} は周方向応力を示し、 σ_{sy} は鋼材の降伏応力を示す。点線で示したのは Mises の降伏曲面である。応力の算定には、弾性領域では Mises の降伏基準を、塑性領域では Prandtl-Reuss の構成則を用いた。Steel-50-1 は、軸方向応力の増加によって降伏に達したことが見て取れる。一方で、S-AAM-50-1 は、軸方向応力だけでなく、周方向応力も増加しながら降伏に達したことがわかる。これは、充填固化体の膨張により、鋼管に側圧が加わったことを示唆している。

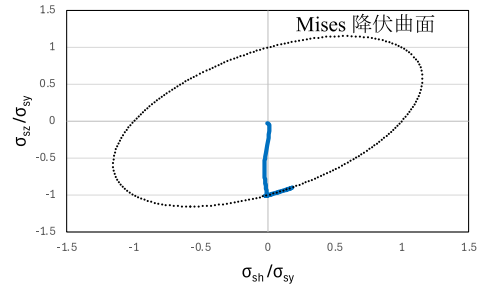
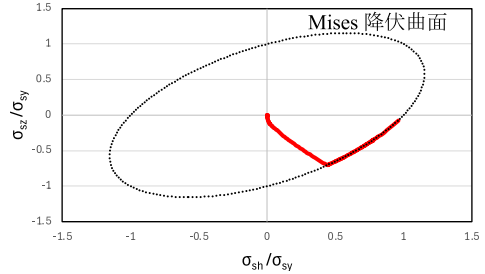


図-3 Steel-50-1 の鋼管の二軸応力経路曲線



3.4. 多軸拘束を受ける AAM コンクリートの圧縮強度

表-4に側方拘束を受けた AAM コンクリートの圧縮強度 σ_{cu} と、材料試験から得られた圧縮強度 σ_c の比較を示す。ここで σ_{cu} は、CFT 短柱の鋼管の応力および断面積を用いて、鋼管の負担荷重を求め、それと鋼短柱の荷重の差から充填コンクリートの負担荷重を算出した後、充填コンクリートの断面積で除することで算定した。CFT 短柱に充填された AAM コンクリートは、鋼管からの拘束圧により、多軸応力状態となる。この多軸拘束の効果によって、AAM コンクリートの圧縮強度は増加し、その増加率は18%ほどであった。

表-4 AAM コンクリートの圧縮強度の比較

S-AAM-50-	1	2	3	Ave.
σ_{cu} (MPa)	48.09	47.85	46.47	
σ_c (MPa)	40.18			
increase (%)	19.69	19.09	15.65	18.14

4. まとめ

円形鋼短柱の圧縮載荷実験によって、鋼管と充填固化体の複合化による耐荷力の増加並びに変形性能の向上が確認され、破壊モードは、鋼管上部または下部の局部座屈であった。また鋼管は充填固化体の膨張圧によって、周方向応力の発現が確認された。逆に充填固化体は、鋼管からの拘束圧を受け多軸応力状態となり、圧縮強度の増加が確認できた。

5. 参考文献

[1]篠原弘充, 長谷川樹, 安琳, メタケイ酸ナトリウム九水和物を使用したジオポリマーコンクリートの力学的特性に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, 2023