

（協） 大林組技術研究所

○吉岡 尚也

〃

畑 浩二

〃

藤原 紀夫

1. はじめに

大規模な地下空洞の掘削に際し、空洞周辺地山の力学的安定性を得るための手法の1つとして、地山が有している支持力を利用しようとするいわゆる吹付けコンクリートにロックボルトを併用した工法が採用される傾向にある。そのため筆者らは、幅1 m高さ1 m厚さ0.5 mの試験体中央部にきのこ型断面を有した地下空洞（幅0.12 m高さ0.24 m）を設け、鉛直・水平の2方向から破壊に至るまで加圧して、そのときの空洞周辺地山の力学的挙動からロックボルトの補強効果を把握することを試みた。補強効果に及ぼすロックボルトの長さは0.06 mと0.12 mの2種類で、ロックボルトは空洞側壁部に打設した。

2. 実験概要

2.1 実験装置と試験体 実験槽はFig.1に示すようなもので、最大9800K Paの載荷圧に耐えられるようになっている。載荷は厚さ0.02 mの鉄板を介して鉛直と水平の2方向からフラットジャッキで行なえるようになっている。一方、試験体は一軸圧縮強度が4900K Paになるような配合のベントナイトモルタルで作製した。そして、試験体に開孔される地下空洞はFig.2のようなきのこ型の断面を有しており、補強効果に及ぼすロックボルトは空洞の側壁部に打設されている。なお、ロックボルトは径0.08 mのアルミ棒を用いた。

2.2 実験方法 試験体を養生させたのち、ひずみゲージ（東京測器研究所製PC20, PR20）と変位計（東京測器研究所CDP25）をFig.3に示した位置に設置する。つぎに、フラットジャッキにより試験体が破壊するまで鉛直と水平の2方向から載荷する。ただし、水平圧は鉛直圧の1/3とした。実験は(1)ロックボルトなし、(2)ロックボルトあり（ボルト長0.06 mと0.12 mの場合）の3ケースについて行なった。

3. 実験結果および考察

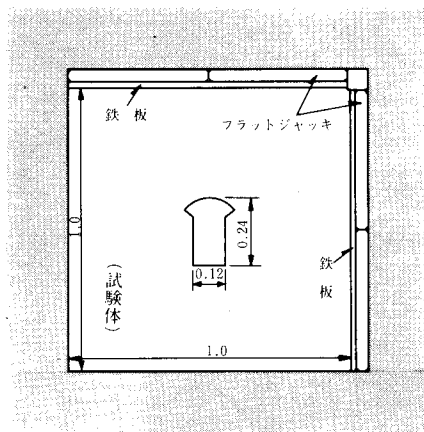
Fig.4は縦軸に主ひずみ、横軸に空洞壁面からの距離をとってロックボルトがない場合の破壊時における空洞周辺地山の主ひずみの一例を描いたものである。

ϵ_1 が最大主ひずみ、 ϵ_2 が最小主ひずみに当たる。ところで、平面応力状態での主応力と主ひずみの間には

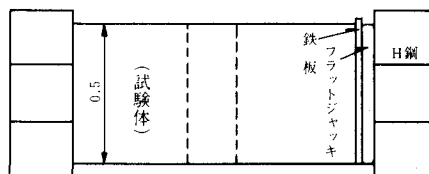
$$\sigma_1 = E \cdot \epsilon_1 / (1 - \nu^2) + E \cdot \epsilon_2 \cdot \nu / (1 - \nu^2) \quad (1)$$

$$\sigma_2 = E \cdot \epsilon_1 \cdot \nu / (1 - \nu^2) + E \cdot \epsilon_2 / (1 - \nu^2)$$

の関係がある。したがって、空洞周辺地山が破壊に至るまで弾性的な挙動を呈するものとして、(1)式を用い



平面図(単位: m)



断面図(単位: m)

Fig. 1 実験装置

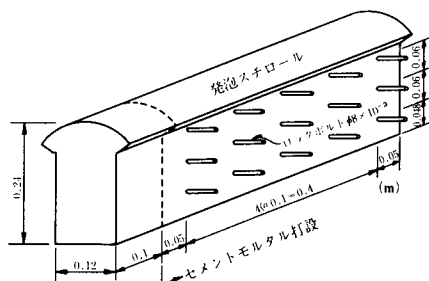


Fig. 2 空洞模型とロックボルト打設パターン

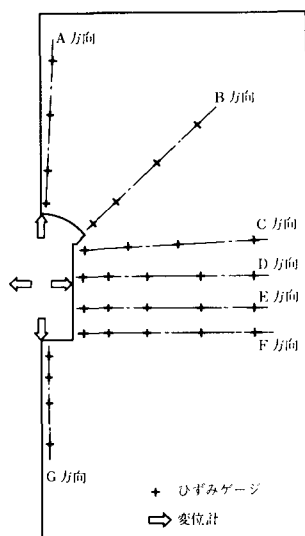


Fig. 3 ひずみと変位の測定位置

てFig.4の主ひずみを主応力に換算するとFig.5のようになる。 σ_1 が最大主応力、 σ_2 が最小主応力である。Fig.5のC,D方向の主応力状態に注目すると、地山の内部に応力の集中帯が形成されているのがわかる。このことは空洞壁面から応力集中帯までの範囲が強度劣化域に入っていることを意味している。このような現象は空洞の側壁部にロックボルトが打設されたときにも生じている。そして、各実験ケースにおける強度劣化域を描くとFig.6 (A),(B),(C)のようになる。Fig.6から側壁部に長さ0.12m（空洞掘削幅）のロックボルトを打設すると強度劣化域が減少し、補強効果のあることが認められる。つぎに、各実験ケースの終局的な耐力を知るために、地山強度比

（試験体の一軸圧縮強度を破壊時の載荷圧で割った値とする）で表わすとTable 1のようになる。

5. おわりに

大規模な地下空洞の力学的安定性を検討する1つとして、ここではきのこ型断面を有する空洞模型の側壁をロックボルトで補強したときのその効果に関して以上のような実験的研究を行なった。実験結果からつぎのようなことが言える。(1)無支保の場合に生じる強度劣化域は空洞側壁部の奥深くまで及ぶ。(2)しかし、長さ0.12mのロックボルトを側壁部に打設すると強度劣化域が大幅に減少するとともに、地山強度比が0.7程度になるまで耐力を有する。

なお、実験は土木本部設計部恩田章職員の御援助をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

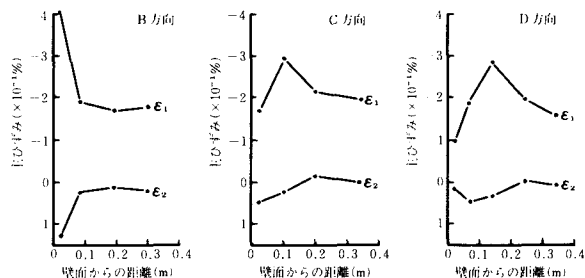


Fig. 4 空洞周辺地山の主ひずみ状態の一例

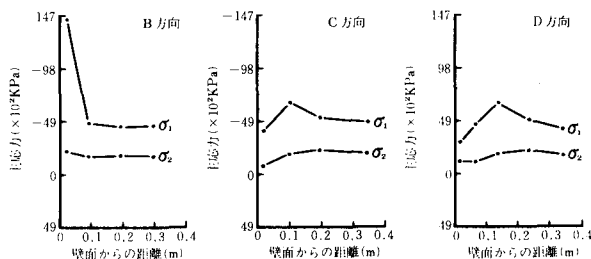


Fig. 5 空洞周辺地山の主応力状態の一例

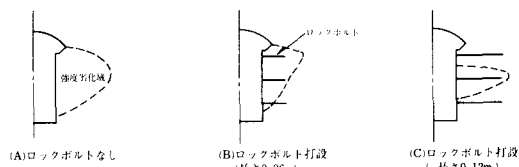


Fig. 6 (A),(B),(C) 強度劣化域

Table. 1 各実験ケースの地山強度比

	ロックボルト なし	ロックボルト 打設(0.06m)	ロックボルト 打設(0.12m)
破壊強度 (KPa)	5390	4410	5880
一軸圧縮強度 (KPa)	5929	4998	4253
地山強度比	1.1	1.1	0.7