

(38) 釜石鉱山における初期応力状態に関する研究 (第1報)

日鉄鉱業(株) (正会員) ○ 野口義文
熊本大学大学院 張 鉉國
日鉄鉱業(株) 高原弘幸
熊本大学工学部 (正会員) 尾原祐三

Evaluation of Initial Stress State in the Kamaishi Mine

by

Yoshifumi NOGUCHI, Nittetsu Mining Co., Ltd.

Hyun-kuk JANG, Kumamoto University

Hiroyuki TAKAHARA, Nittetsu Mining Co., Ltd.

Yuzo OBARA, Kumamoto University

Abstract

A initial stress state is influenced by geological discontinuities. It is expected that the macro-scopic evaluation of regional rock stress state can be cleared by measurements at many points in an objected area. From this point of view, the initial stress measurements with the conical-ended borehohe technique were carried out at four test sites in the Kamaishi mine. As the result of this study, the characterization of the initial stress state in the Kamaishi mine is evaluated as follows.

- The direction of the maximum horizontal stress is approximately N-S. This is different from the general tendency of the initial stress state in the northeast of Honshu island.
- Such a direction is estimated by the recent study of focal mechanism for the earthquake in/ around the south-east Kitakami district including the test site. It is also supposed that this direction is suited to the strike of rock boundary, ore bodies, and large faults near the test site.
- The magnitude of vertical stress components approximately corresponds to the calculated vertical stresses due to overlying weight of rock. On the other hand, the ratio of the average horizontal stress to the vertical stress is relatively higher than other results measured in Japan.

1. はじめに

初期応力状態は岩盤構造物の合理的な設計・施工において考慮すべき最も重要な条件の一つであり、地下発電所や石油地下備蓄基地などの大規模な地下空洞、山岳トンネルなどの建設に際して原位置における測定例が多々報告されている。

初期応力の測定には種々の方法があるが、それらを用いて得られる測定結果は岩盤内の局所的な値である。一方、岩盤は節理や断層などの不連続面を有しており、これらの存在が局所的に広域的な初期応力の場を擾乱していると考えられる。これまでに、岩盤の不均質性が初期応力に影響を及ぼすこと¹⁾、あるエリアの初期応力状態が広域でみた傾向と異なっていること²⁾、断層のような地質的不連続面が初期応力の分布に影響を与えている³⁾ことなどが報告されている。これらのことから、応力解放法などの原位置測定による場合、対象とする範囲内の多地点で測定を行い、周辺の地質構造と測定結果の関係を明らかにした上で評価することなしには、岩盤構造物の設計や施工管理などを目的としたマクロな初期応力状態の把握には不十分であると考えられる。

このような観点から、著者らは釜石鉱山の花崗岩体を対象に、複数の地点で円錐孔底ひずみ法⁴⁾⁵⁾によ

る原位置初期応力測定を行い、周辺の地質構造との検討を試みてきた。本報告では、これまでに得られた測定結果をもとに釜石鉾山周辺におけるマクロな初期応力状態の分布特性について述べる。

2. 測定場所

釜石鉾山の位置する北上山地は、古生代、中生代の堆積岩とこれを貫く火成岩類とからなり、石灰岩の卓越する南部北上山地と、チャートが卓越する北部北上山地大きく二分されている。そして、両者を境にして早池峰-五葉山構造帯が存在する。鉾山は、図1に示すように、南部北上山地と北部北上山地の漸移帯付近に存在し、鉾山付近における古生層は一般に早池峰-五葉山構造帯と同様に南北の走向である。初期応力測定の対象は、ほぼ同時期に貫入したとされている蟹岳花崗岩体と栗橋花崗岩体である。

測定地点を図2に●印で示す。550mレベルで3ヶ所、250mレベルで1ヶ所の計4ヶ所で実施した。なお、図の○印aはこれまでに報告されている応力解放法による測定地点である⁶⁾。測定地点S、Hは蟹岳花崗岩体に、Cおよびaは栗橋花崗岩体に属し、Kは両岩体の境界付近に位置する。

地表のリニアメントおよび坑道における亀裂調査によると測定位置を包含するエリアでは、走向が概ね東西、傾斜80~85°の比較的急傾斜の亀裂が卓越しており、探査ボーリング時の湧水位置や坑道における湧水の分布からも、上記の亀裂群が本測定エリアのいくつかの位置で地表から250mレベルに至る深度方向に連続することが推定されている⁷⁾。したがって、本測定エリアは、早池峰-五葉山構造帯の南側に位置し、走向が概ね東西と南北の2つの不連続面群によってブロック化されているという地質構造の特徴を有する。

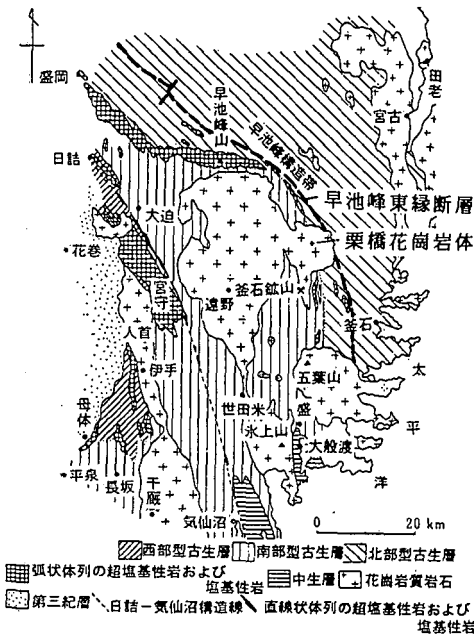


図1 北上山地中南部の地質概要

(柴田秀賢：日本岩石誌 I, p191, (1968)に加筆)

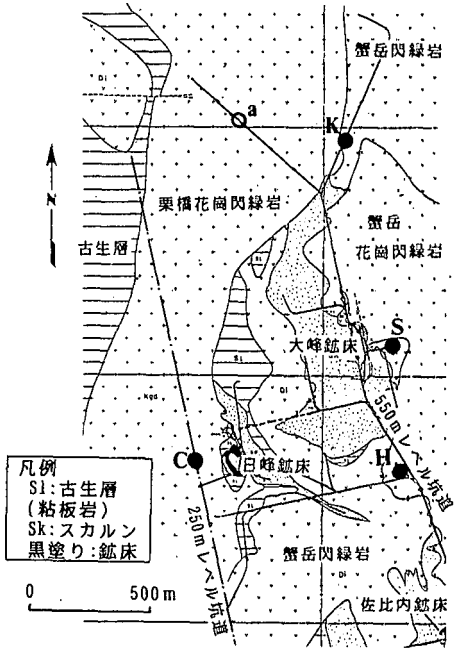


図2 測定地点 (550mレベル岩種分布図)

3. 測定結果と考察

これまでに報告されているa地点の測定結果を含めてまとめると表1のようである。これらの値はその地点で測定された2~4回の測定結果を平均したものであり、a地点では孔径変化法により3方向のポアホールで測定されたもので、それらの結果を総合して決定されたものである。

応力成分は東をx軸、北をy軸、鉛直上向きをz軸とした座標系で表している。また、 σ_{H1} および σ_{H2} は、それぞれ水平面内での最大主応力と最小主応力である。

表1 初期応力測定結果

測定地点		S	H	K	C	a ⁶⁾
深度 Z (m)		520	430	240	600	260
応力成分 (MPa)	σ_x	8.9	7.6	10.5	23.3	15.3
	σ_y	21.7	24.1	21.2	30.9	18.2
	σ_z	10.3	9.0	7.9	23.6	8.9
	τ_{yz}	-2.5	6.4	-3.0	5.0	2.4
	τ_{zx}	-5.0	-1.8	0.7	1.2	4.2
	τ_{xy}	0.0	-2.9	-6.8	-7.7	2.0
主応力*) (MPa)	σ_1	22.3 (5/14)	27.0 (170/20)	25.0 (335/10)	36.8 (151/16)	20.7 (216/20)
	σ_2	14.2 (109/45)	7.6 (67/31)	8.0 (75/47)	24.6 (267/56)	15.0 (311/14)
	σ_3	4.4 (263/42)	6.2 (287/51)	6.6 (236/41)	16.4 (52/29)	6.7 (74/65)
水平面内 主応力 (MPa)	σ_{H1}	21.7	24.6	24.5	35.7	19.2
	σ_{H2}	4.4	7.1	7.2	18.5	6.7
北から σ_{H1} への 方位角 (度)		0	-10	-26	-32	27

*) : () 内の値は各成分の方位 (度)。(傾斜の方向/傾斜)をシュミットネット下半球投影表示。

ひとつのサイトにおいて多地点で初期応力測定を実施することにより、周辺の地質状況や断層のような不連続面などに影響されたマクロな場の初期応力状態の解明が可能と考えられる。ここでは、世界の応力測定データと今回の測定結果を比較して釜石鉾山付近の応力状態の分布特性を抽出することにする。

まず、鉛直応力 $\sigma_v = \sigma_z$ と深度 Z の一般的な関係を示すと図3のようである⁸⁾。図の●印は世界10ヶ国の、○印はわが国の測定値である。両者の平均的な関係は破線で示したように、 $\sigma_v = -27 \cdot Z$ で表される。したがって、岩盤の単位体積重量を 27 kN/m^3 と見なせば、任意の深度の鉛直応力を推定できる。今回の測定結果を図3と同様にして図4に示す。5地点の結果を平均的にみると図3と同様な関係が成立している。しかし、蟹岳花崗岩体中の S, H 地点のそれは破線より下に位置し、一方、栗橋花崗岩体中の a, C 地点、および2つの岩体の境界にある K 地点のそれは破線より上に位置している。これは、それぞれの花崗岩体の生成過程や周辺の不連続面の状況などに関係しているものと考えられ、今後の検討が必要である。

次に、平均側圧係数、すなわち水平面内の2つの直応力の平均値 $\sigma_{H\text{ab}}$ と鉛直応力 σ_v の比 k と、深度 Z との一般的な関係を図5に示す⁸⁾。海外の測定値を●印、わが国の測定値を○印で示す。海外の測定値は破線で示す下限曲線 ($k = 0.1 / Z + 0.3$) と上限曲線 ($k = 1.5 / Z + 0.5$) の間に分布しているが、国内の測定値は下限曲線付近に分布し、この曲線より小さい測定結果もかなり存在している。弾性球殻モデル⁹⁾によると、下限曲線は球殻底面における側圧係数が0.3であることを示し、球殻のポアソン比0.23、球殻の底面深度33.7kmに対応する。また、上限曲線は球殻底面における側圧係数が0.5、球殻のポアソン比0.20、球殻の底面深度154.6kmに対応する。これに従うと、日本列島の球殻底面深度は浅く、地殻の膨張によって日本列島が持ち上げられていると考えられる。図6に示した今回の測定結果はほぼ直線上に分布しており、測定エリア内ではほぼ様な応力状態であると推察される。また、他のわが国における測定結果に比較すると側圧係数は高いと言えよう。

最後に、各地点における水平面内の最大主応力方向を付近の地表地質図に示すと図7のようである。各地点における最大水平応力の作用する方向は若干東西に傾いているが、ほぼ南北方向であり、付近に卓越する2方向の不連続面群のうち、ほぼ南北の走向を有する岩種境界や鉾床に沿っている。一等三角点測量

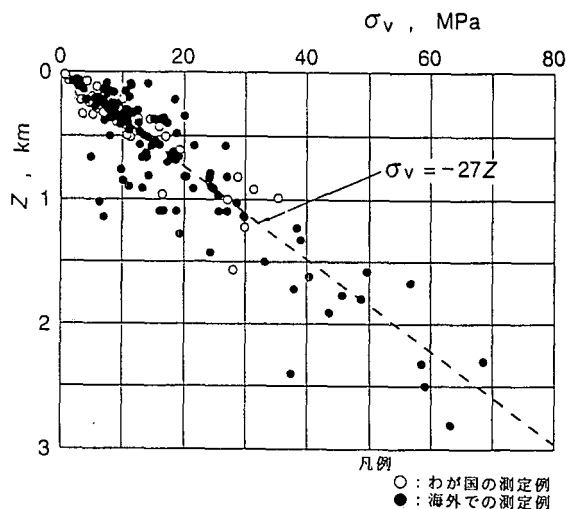


図3 鉛直応力と深度との関係

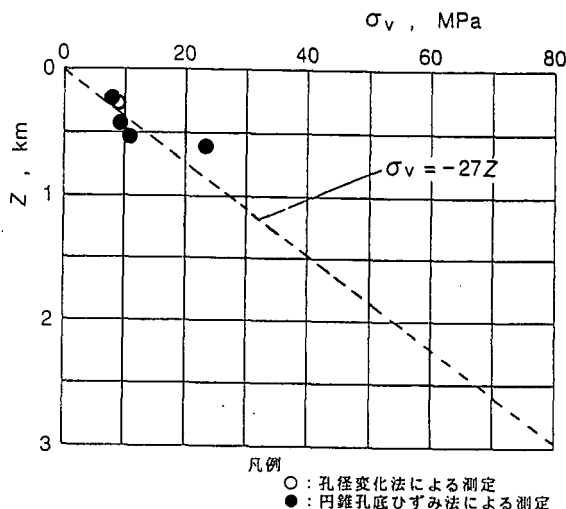


図4 釜石鉱山における鉛直応力と深度との関係

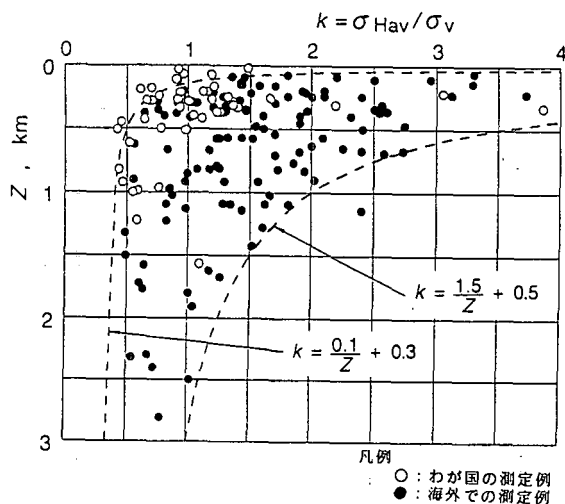


図5 側圧係数と深度との関係

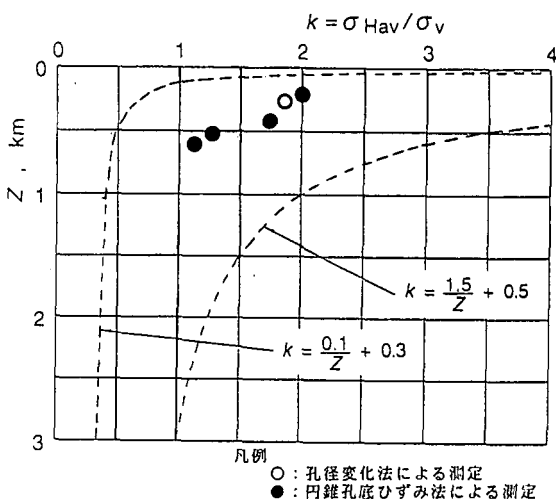


図6 釜石鉱山における側圧係数と深度との関係

によって測地学的に求められた東北地方の広域的な応力状態は東西に圧縮されていると報告されている¹⁰⁾。しかし、地震学的に求められた応力についての最近の文献¹¹⁾には「東北地方は概ね東西圧縮が卓越しているが、岩手県周辺では南北方向にかなりP軸(引き:主圧力軸)が振れている地震は珍しくない。」とあり、局所的には南北方向の圧縮応力場の存在を示唆している。そして、この結果はここで述べた釜石鉱山における初期応力の測定結果と調和的である。なお、これも今後の課題であるが、測定エリア近傍に地震が少なく、早池峰-五葉山構造帯に沿うように地震が発生している¹²⁾ことを見ると、本測定エリアの初期応力の方向が広域的に見たものと異なることに何らかの関係があるのかも知れない。

4. おわりに

応力解放法のひとつであり、パイロットボーリングと同径のコンパクトオーバーコアリング法を用いる16素子円錐孔底ひずみ法による初期応力測定を釜石鉱山で実施し、以下のことを明らかにした。

・測定エリアにおいては概ね一様な初期応力状態である。

- ・わが国の他の測定例と比較して、平均側圧係数が高い。
- ・東北地方は最大水平応力が東西方向に作用していると一般的に言われているが、本研究では南北の方向であった。この結果は、最近の地震波を用いた解析結果と類似の傾向を示している。
- ・上記の方向は、測定エリア周辺に存在する構造帯や岩種境界、鉱床の走向と調和的であり、初期応力の分布がこれらによって何らかの制約を受けているものと推察される。

今後、様々な規模あるいは方向で存在する地質的不連続面の中で、どれがどのような影響を及ぼしているのかなどの課題を解明し、測定エリアでの初期応力場の構造特性を明らかにしなければならない。

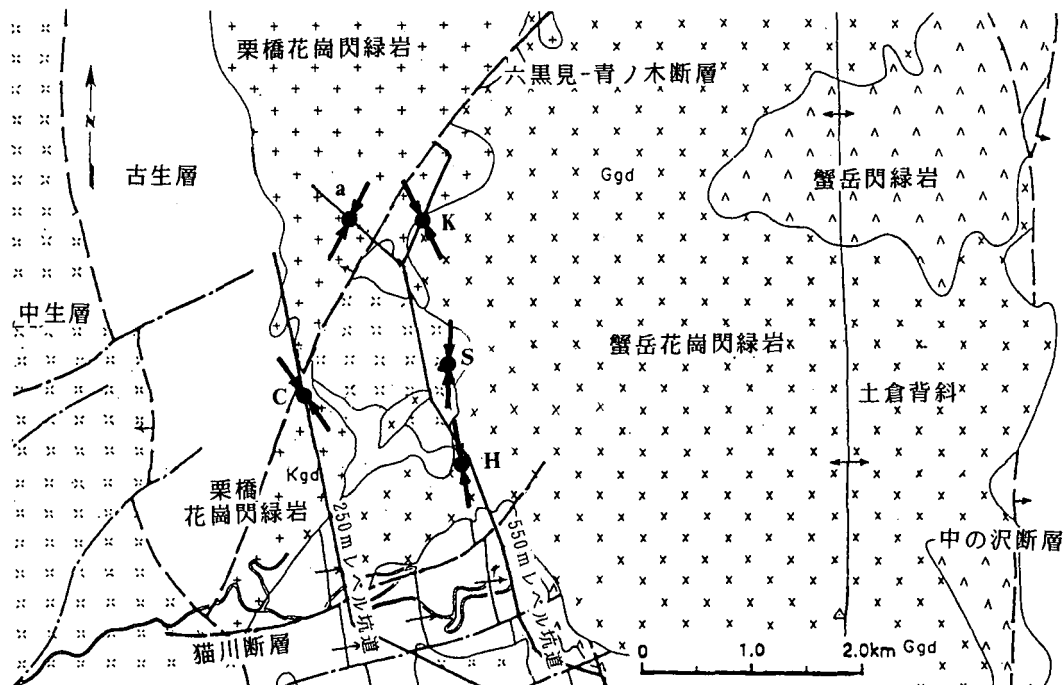


図7 釜石鉱山における水平面内の最大主応力の方向の分布

参考文献

- 1) 石田 毅・金川 忠：地震，第40巻，第2輯，pp.329-339，(1987)
- 2) W.L.Ellis：Rock Mechanics as a Multidisciplinary Science, Rogiers(ed.), pp.73-81, (1991)
- 3) Y.Obara & K.Sugawara：Mechanics of Jointed and Faulted Rock, Rossmanith(ed.), pp.827-834, (1990)
- 4) 坂口清敏・尾原祐三・中山智晴・菅原勝彦：資源と素材，108巻，6号，pp.455-460, (1992)
- 5) 坂口清敏・竹原 孝・尾原祐三・中山智晴・菅原勝彦：資源と素材，110巻，4号，pp.331-336, (1994)
- 6) Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation：Field Tour Guide for Kamaishi In-Situ Experiment Site, International Workshop on Research and Development of Geological Disposal at PNC Tokai, pp.9-10, (1993)
- 7) 野口義文・岩崎 浩・小池克明・金子勝比古：情報地質，第4巻，第2号，pp.45-57, (1994)
- 8) 日本材料学会編：岩の力学 基礎から応用まで，pp.357-361, 丸善, (1993)
- 9) W.R.McCuehen：Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol.19, pp.201, (1982)
- 10) 土木学会編：土木技術者のための岩盤力学，pp.43-44, 土木学会, (1978)
- 11) 東北大学理学部：東北大学理学部 地震 予知連絡会会報，51巻，pp.152, (1993)
- 12) 河野芳輝・古瀬慶博：100万分の1日本列島重力異常図，付図II 地震活動分布図 E4, 東京大学出版会, (1989)