

Ⅲ - A341

猪名川深部ボーリングコアを用いた変形率変化法による応力測定

三井建設（株） 正会員 ○木山 保
 地質調査所 楠瀬勤一郎、長 秋雄、佐藤隆司
 サノコシステム（株） 佐々木勝司

1. はじめに

兵庫県川辺郡猪名川町では、1994年7月から群発地震が観測され、兵庫県南部地震後もその活動が続いている。当初、10km程度であった震源の深さが、兵庫県南部地震以降徐々に浅くなり、最も浅い震源は1km以浅である¹⁾²⁾。そこで、猪名川町広根において、深度100mおよび1,000mの2本のボーリングをさく井し、水圧破砕法による応力測定などの孔井内における各種原位置試験を実施し、100m孔底に応力変化計を、1,000m孔底に地震計と水位計を設置した。水圧破砕法による応力測定では、700m以浅の応力状態は西日本標準応力勾配にほぼ一致するが、900m以深の応力状態は西日本標準応力勾配の約2倍であるとの結果が得られた。これはかなり劇的な変化であると思われる。試験上のエラーはないと確信しているが、原位置で水圧破砕法のキャリブレーションができるわけではないし、エラーの検討はシャットイン圧やリオープン圧の理論的検討等にとどまる。そこで、まったく測定原理の異なる応力測定法の併用は得られた結果の信頼性を評価する上で有効であると考えられる。原位置から採取されたコアを用いて応力履歴（原位置応力）を評価する方法として、AE法、変形率変化法、DSA法、ASR法などが挙げられる。ここでは、猪名川深部ボーリングで採取されたコアを用いて実施した変形率変化法による応力測定の結果について報告し、水圧破砕法の結果と比較する。

2. 変形率変化法の試験方法および試験結果

猪名川深部ボーリングで採取された岩石コアは、超丹波帯山下層および長尾山層の砂岩および頁岩である。水圧破砕法の実施深度に近い採取コアを選定し、直径約60mmの採取コアから、直径25mm、長さ約50mmの供試体を、水平面内で45°間隔に4本（E-W, NE-SW, N-SおよびNW-SE、図1参照）、鉛直方向に1本、1深度につき5本、合計15本作製した。なお、これらの供試体は、ボアホールテレビュアの記録から方位がわかっている。供試体側面の中央部分に、軸方向および周方向に沿って2枚ずつ、ひずみゲージを貼付した。ひずみ計測は、動ひずみアンプで増幅し、A/D変換後にLabViewで取り込み、300回/秒スタッキングして保存した。載荷装置はMTS815システムを使用し、応力速度1.0MPa/minで4回繰返し載荷した。応力は90MPaを上限として設定した。

データの処理を始める前に、2枚のひずみゲージから得られた2本の応力-軸ひずみ曲線を比較し、大きな差異がないことを確認した。ここで両者が大きく異なるようであれば、載荷が片寄っていることや局所的な物性の違いなどが考えられ、データの信頼性は低いと思われるので以下の処理は行わないことにした。まず、2枚のひずみゲージの平均値と応力の関係のある微小区間で最小二乗近似し、この区間に含まれるある応力におけるひずみの最確値を求める。この操作は、ノイズの除去と4回の載荷で同じ応力におけるひずみを求めるために行う。つぎに4回目から2回目の同じ応力におけるひずみを引き、ひずみ差を計算する。この操作は4回目から3回目、3回目から2回目についても行う。なお、山本の方法に従って1回目のデータは用いない。ひずみ差-応力関係の例（水平面内で南北方向の供試体）を図2に示す。なお原則的に4回目から2回目のひずみを引いたひずみ差を用いている。山本によると、ひずみ差と応力の関係が線形から外れる点の応力が、先行履歴応力となる³⁾。図中に示した矢印の応力がこれに相当する。この例では、83.40mで14MPa、577.07mで18MPa、947.42mで50MPaとなり、947.42mで測定された応力は他と比較して明らかに大きい。

表1に変形率変化法による応力測定結果を示す。どの方向の応力も深度とともに大きくなっている。深度から想定される被り圧（比重2.7と仮定）と測定された鉛直応力を比較すると、577m付近ではほぼ一致するものの、83m付近および947m付近では測定された鉛直応力が大きい。表の下半に水平面内の4方向の結果から計算した水平面内の主応力を示す。最大主応力は、83m付近で16.8MPa、577m付近で22.3MPa、947m付近では57.8MPa

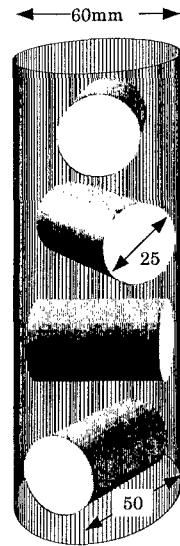


図1 直径60mmの採取コアから変形率変化法に用いる供試体を抜き取る方向

表1 変形率変化法による応力測定結果

深度	83m付近	577m付近	947m付近
E-W 応力 (MPa)	15	22	51
NE-SW 応力 (MPa)	10	17	60
N-S 応力 (MPa)	14	18	50
NW-SE 応力 (MPa)	16	21	50
鉛直応力 (MPa)	9	14	65
被り圧 (MPa)	2	16	26
最大主応力 S_H (MPa)	16.8	22.3	57.8
最小主応力 S_h (MPa)	10.7	16.7	47.7
最大主応力方位	N50W	N68W	N48E

である。最小主応力は、83m付近で10.7MPa、577m付近で16.7MPaであるが、947m付近では47.7MPaときわめて大きい。また、主応力比は、1.2～1.6である。最大主応力の方位は、83m付近でN50°W、577m付近でN68°W、947m付近ではN48°Eとなったが、水平面内のデータが4方向しかないため、主応力方位の決定精度は低いと考えられる。

3. 水平面内の主応力値と深度の関係

水圧破砕法と変形率変化法で測定された水平面内の主応力と深度の関係を図3に示す。図中の2本の実線は、西日本標準応力勾配⁹⁾で、それぞれ水平面内の最大主応力と最小主応力に対応する。

深度95mの結果をみると、水圧破砕法の結果は西日本標準応力勾配にほぼ一致している。変形率変化法の結果はこれより大きい。変形率変化法を含め、岩石の応力履歴を調査する測定法では、いつの時点の履歴応力を反映しているのかが問題である。堆積時または結晶時以降の最大履歴応力を示すのか、時間と共に履歴応力の記録は失われていくものなのか、あるいは履歴していた時間の長さとの関係はどうなのか、これらに関する検討は今後も重要であろう。

深度570m～680m付近の結果をみると、水圧破砕法の結果は西日本標準応力勾配にほぼ一致している。深度95mの結果を含めて、最大主応力より最小主応力の方が西日本標準応力勾配に良い一致を示している。この傾向は西日本地殻応力調査班も報告している。彼らは、その原因を「最小主応力値は地域的時間的变化が少ないため」としている。また、水圧破砕法では、原理的に最小主応力の誤差は最大主応力より小さい。変形率変化法の結果も、水圧破砕法の結果に近い値を示しているが、主応力比は小さい。

深度940m付近の結果をみると、水圧破砕法および変形率変化法の結果は、ともに西日本標準応力勾配よりかなり大きな値を示し、測定された最小主応力でさえ、西日本標準応力勾配の最大主応力より大きい。この深度では、変形率変化法の最大主応力は水圧破砕法の最大主応力よりも小さく、深度90m付近の結果と傾向が異なる。しかし、ここでは、水圧破砕法で高い応力が測定された深度において、全く原理の異なる変形率変化法でもやはり高い応力が測定されたことを強調したい。

4. おわりに

猪名川深部ボーリングコアを用いた変形率変化法による応力測定を実施した。700m以浅の応力状態はほぼ西日本標準応力勾配に一致し900m以深の応力状態はこれよりかなり大きいという傾向は、水圧破砕法による原位置測定結果と大局的には一致している。しかし詳細に値をながめると完全に一致しているわけではなく、これが原位置測定と室内測定の違いに起因している可能性もありうる。

（参考文献）

- 1) 安藤雅孝:1995年兵庫県南部地震の前震・本震・余震・誘発地震, 月刊地球, 号外No. 13, pp. 18～29, 1995
- 2) 中村 衛:1995年兵庫県猪名川群発地震, 日本地震学会1995年度秋季大会講演予稿集, B100, 1995
- 3) 山本清彦:平成5年度科研費成果報告書, pp. 86～103, 1994
- 4) 西日本地殻応力調査班:地殻応力測定総合報告, 地震予知連絡会報, No. 51, pp. 703～711, 1994

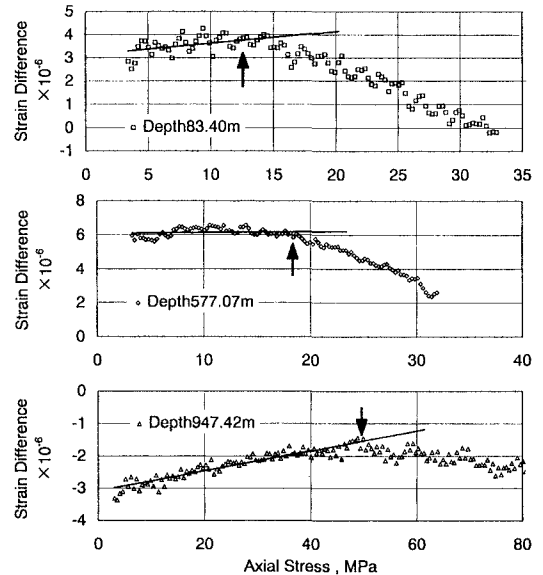
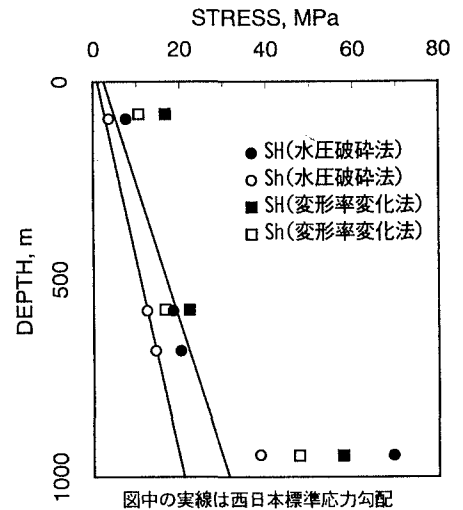


図2 変形率変化法の応力ひずみ差曲線



図中の実線は西日本標準応力勾配

図3 水平面内の主応力と深度の関係