

三陸沖日本海溝海側斜面に発達する割れ目の変遷： 「しんかい6500」および「かいこう」による観察

平野 聡*1 小川勇二郎*2 藤岡換太郎*3 川村喜一郎*4

「しんかい6500」と「かいこう」による、1991年から1997年の潜航調査の際に撮影されたビデオ画像を用いて、日本海溝海側斜面に発達する開口性割れ目（通称「マネキンバレー」）周辺の割れ目と堆積環境の変遷を明らかにした。割れ目先端部では、底層流の影響を受けやすく、堆積・浸食過程が時間とともに入れ替わる。一方、割れ目の中央部では、一貫して埋没過程が卓越しており、その結果、マネキンの頭は6年間で完全に埋没した。また、割れ目の両壁からブロックが崩落することにより、割れ目自身は現在も拡大していることも明らかになった。このような開口性割れ目の成因は、すでに指摘されているように、土圧理論に基づく斜面不安定と地震による強振動の組み合わせが妥当であると思われる。将来的には、同じ地点への定期的な潜航調査や、深海底における長期観測、割れ目分布のマッピング、さらに地殻構造やプレート運動との相関を明らかにする必要がある。

キーワード：開口性割れ目、底層流、地震、潜水調査船、日本海溝、海側斜面

Temporal changes of cracks in the oceanward slope of northern Japan Trench off Sanriku: Six-year observation by submersibles

Satoshi HIRANO*5 Yujiro OGAWA*6
Kantaro FUJIOKA*7 Kiichiro KAWAMURA*8

Using JAMSTEC's Research submersible "Shinkai 6500" and ROV "Kaiko," we examined temporal changes of sedimentary processes and open crack development on the oceanward slope of the Japan Trench offshore Sanriku at around 6,500 m depth. Contrastive sedimentary processes are clarified at the crack center and ends: burial process may be more important than erosion at the crack center; while at the ends, burial and erosional processes appeared to alternate, possibly within a few months due to the seasonal changes of bottom current. The fact that the crack walls collapsed inwards indicates that the cracks are expanding, even though the burial process proceeded at the crack center. The crack may be formed by horizontal tensional

*1 海洋科学技術センター海底下深部構造フロンティア

*2 筑波大学地球科学系

*3 海洋科学技術センター深海研究部

*4 筑波大学大学院地球科学研究科

*5 Frontier Research Program for Subduction Dynamics, JAMSTEC

*6 Institute of Geoscience, University of Tsukuba

*7 Deep Sea Research Department, JAMSTEC

*8 Doctoral Program in Geoscience, University of Tsukuba

stress caused by a combination of gravitational slope instability and additional inertia during earthquake shaking as previously proposed.

Keywords: open crack, bottom current, earthquake, submersible, Japan Trench, oceanward slope

1. はじめに

海洋性プレートが沈み込む outer swell から海溝軸にかけての海溝海側斜面は、プレートが海嶺で生まれて以来、初めて大きな変形を受ける場所である。このような場所では、1933年三陸地震津波を起こしたような巨大地震や、地殻内の微小地震が頻繁に発生している。また、プレートが沈み込みに伴って屈曲することにより、プレート表層付近に引っ張り応力が働き、比高数百mに及ぶ horst and graben という大地形を造ることは、日本海溝やアリューシャン海溝、ペルー海溝、トンガ海溝などでも確認されている（例えば、Ludwig, et al., 1966; Jones et al., 1978; Masson, 1991 など）。

日本海溝やマリアナ海溝の海側斜面には、長さ数百m、幅数mほどの開口性割れ目群が発達することが知られている（例えば、堀田ほか, 1992; 門馬ほか, 1993; Ogawa et al., 1997）。特に、三陸沖の北緯39°20.5′, 東経144°36′, 水深6,278 m付近に発達する、通称「マネキンバレー」と呼ばれる開口性割れ目は、過去5回の詳細な潜航調査が行われ（表1）、1991年～1997年の6年間にわたる深海底の環境の変遷が明らかになった。

本報告では、これらの潜航調査の際に撮影されたビデオ画像に基づき、この開口性割れ目周辺及び内部の産状の変遷について論じる。

2. 地質概説

2.1 開口性割れ目の発達する位置・産状

三陸沖日本海溝海側斜面に発達する開口性割れ目の分布や産状については、すでに堀田ほか（1992）、小川

（1994）、Ogawa et al. (1997) 等の一連の報告で、詳細に記載されている。そこで本報告では、その概要を簡単に紹介する。

この地域は北緯39°20.5′, 東経144°36′を中心とする、日本海溝軸から東へ約35 kmの太平洋プレート上の海側斜面に位置する（図1）。この周辺地域は、南北走向の正断層群によって規制された horst and graben 構造が発達している。grabenの底は、西に緩く傾斜している。

本報告で対象とする開口性割れ目（通称「マネキンバレー」）は、この graben の東部、西に傾斜する斜面上に位置する（図2）。この斜面は6,000～6,400 mの深さにわたり、平均的には15～20度の傾斜を示すが、実際には急斜面（スカープ）と緩斜面（テラス）の組み合わせにより、比高5～150 mの階段状を呈している。この斜面は大局的には南北走向を持つが、詳細に見ると、ミ型に雁行するステップにより構成されている。このステップはわずかに上に凸になるような地形をしている。そのため、等深線はその部分でS字状に屈曲している。開口性割れ目はこのステップ状のS字が北に凸になる部分に発達している。

「マネキンバレー」は、全長185 m、最大幅数mの直線性のよい開口性割れ目である（藤岡ほか, 1993）。ただし割れ目の走向は南部ではほぼ南北であるのに対し、北部ではN30°Eに屈曲している。割れ目の両端部では、幅が徐々に狭くなり、深さも浅くなる。逆に割れ目の中央部では、幅・深さとも数m規模になり、割れ目の両壁から崩落したと思われるブロックが、割れ目の内部に点在している。

Dive No.		Date of dive	Researcher	Affiliation
'Shinkai 6500'	#67	1991.7.15	Yujiro Ogawa	Kyushu Univ.
'Shinkai 6500'	#130	1992.7.19	Kantaro Fujioka	JAMSTEC
'Shinkai 6500'	#134	1992.7.24	Yujiro Ogawa	Kyushu Univ.
'Shinkai 6500'	#373	1997.6.6	Chiaki Kato	JAMSTEC
'Kaiko'	#55	1997.11.16	N/A	JAMSTEC

表1 「マネキンバレー」への潜航調査リスト
Table 1 List of dives near the 'Mannequin valley.'

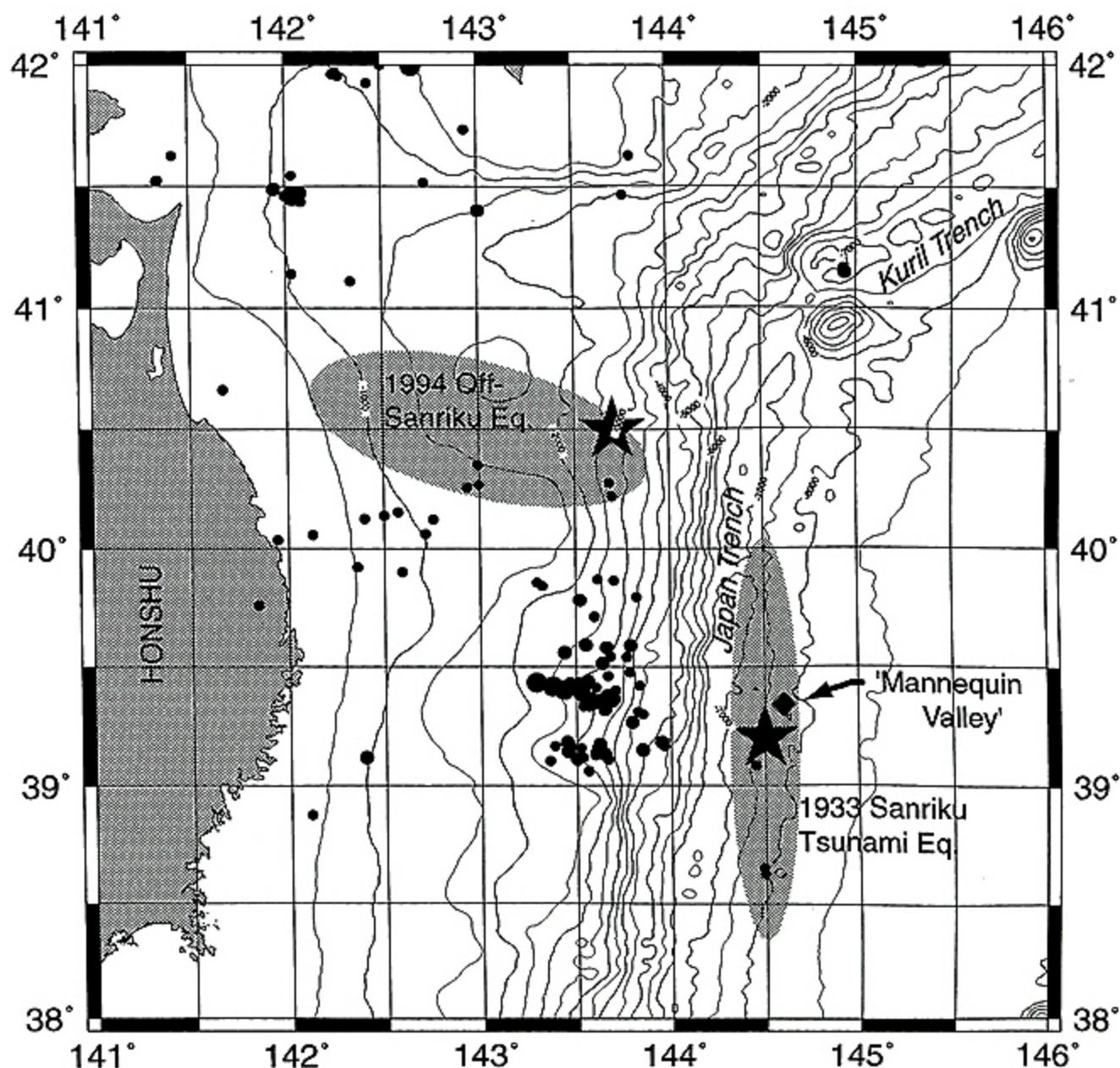


図1 位置図。●は1991年7月15日～1992年7月19日に発生したMw>4以上の地震の震央を示す(気象庁, 1996)。★は1933年三陸津波地震(海溝海側)及び、1994年三陸はるか沖地震(陸側)の震央。その周辺の灰色の楕円はそれらの地震の余震分布を表わしている。◆は、本報告で取り上げる開口性割れ目(通称「マネキンバレー」)の位置を示す。

Fig. 1 Index map of the study area. ● shows epicenters of Mw>4 earthquakes, which occurred from July 15 1991 to July 19, 1992 (JMA, 1996). ★ shows epicenters of the '1933 Sanriku Tsunami Earthquake' (oceanward of trench axis) and the '1994 Off Sanriku Earthquake' (landward). Gray ellipses show distribution of epicenters of each after shock. ◆ shows the location of an open crack, the so-called 'Mannequin Valley.'

2.2 底層流

一般に、深海底の堆積環境は底層流の流向・流速の変化の影響を受けると考えられる。三陸沖日本海溝周辺地域の底層流は、陸側斜面と海側斜面では反対の流向が観測されている。陸側斜面では北から南の流向が観測され

ており、さらに季節変動があることも報告されている(Mitsuzawa and Holloway, 1998)。一方、海溝海側斜面では、堀内ほか(1993)がナマコの定向配列に基づき、南から北への流向の存在を指摘している。残念ながら、海側斜面における底層流の時間変化のデータは無い。

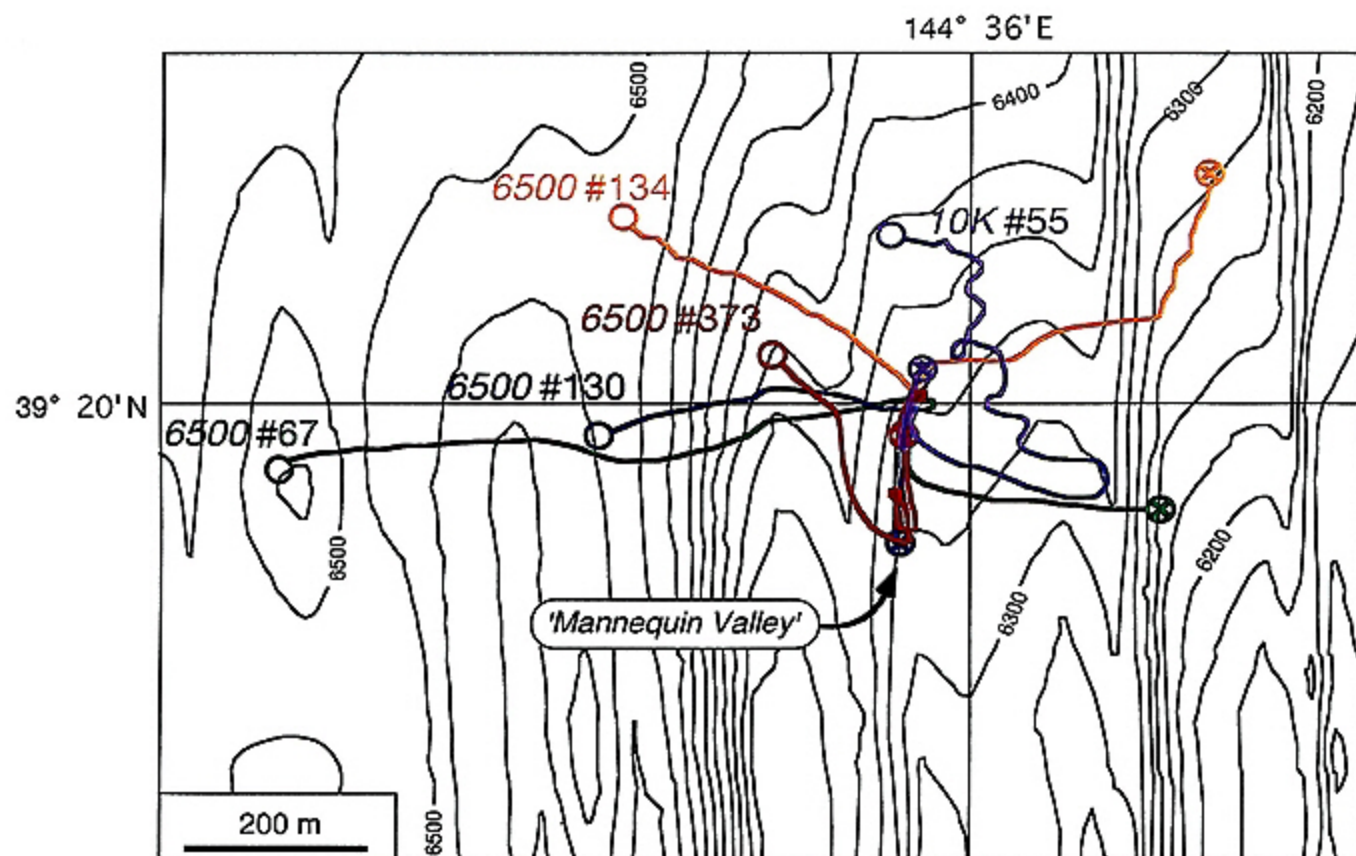


図2 各潜航調査の航跡と、通称「マネキンバレー」の位置。シービームマップは、小川（1994）を修正。
Fig. 2 Dive tracks and location of the so-called 'Mannequin Valley' open crack. Adopted from Ogawa (1994).

	'Shinkai 6500' #67 1991.7.15	'Shinkai 6500' #130 1992.7.19	'Shinkai 6500' #134 1992.7.24	'Shinkai 6500' #373 1997.6.6	'Kaiko' #55 1997.11.16
P-1	-	Deployed	No change	Buried a few cm	Eroded a few cm
P-2		Buried 1 - 2 cm	N/A	?	Buried completely
P-3		Buried and/or blown away	N/A	Buried and/or blown away	Buried and/or blown away

表2 「マネキンバレー」の産状変化
Table 2 Temporal changes at 'Mannequin Valley.'

3. 開口性割れ目の経年変化

ここでは最も観察回数の多い開口性割れ目のひとつである「マネキンバレー」について、割れ目の最北端部（P-1）と、中央部（P-2～3）の3地点の産状変化を述べる。なお、各地点における観察結果を表2にまとめた。

3.1 P-1（第130次潜航マーカーポール）

P-1はこの割れ目の最北端部に位置する（図3）。割れ目の深さは50cm以浅で、中央部と比較して浅い。1992年7月19日「しんかい6500」第130次潜航の際に、潜航者の藤岡がマーカーポールを設置した（図4A）。その後、

我々はこのマーカーポールを、設置直後の同7月24日（同第134次潜航。潜航者：小川勇二郎。図4B）、1997年6月6日（同第373次潜航。潜航者：加藤千明博士。図4C）と同11月16日（「かいこう」第55次潜航。観察者：平野聡。図4D）の3回確認している。

マーカーポールを設置したときは、ネットに入れたゴムボールから海底面まで約10 cmの高さがあった。5年後の1997年6月の潜航調査時には、堆積物によりネットの直下まで埋没していた。さらにその5カ月後、1997年11月に「かいこう」で潜航したときは、逆に数cm削剥されていた。

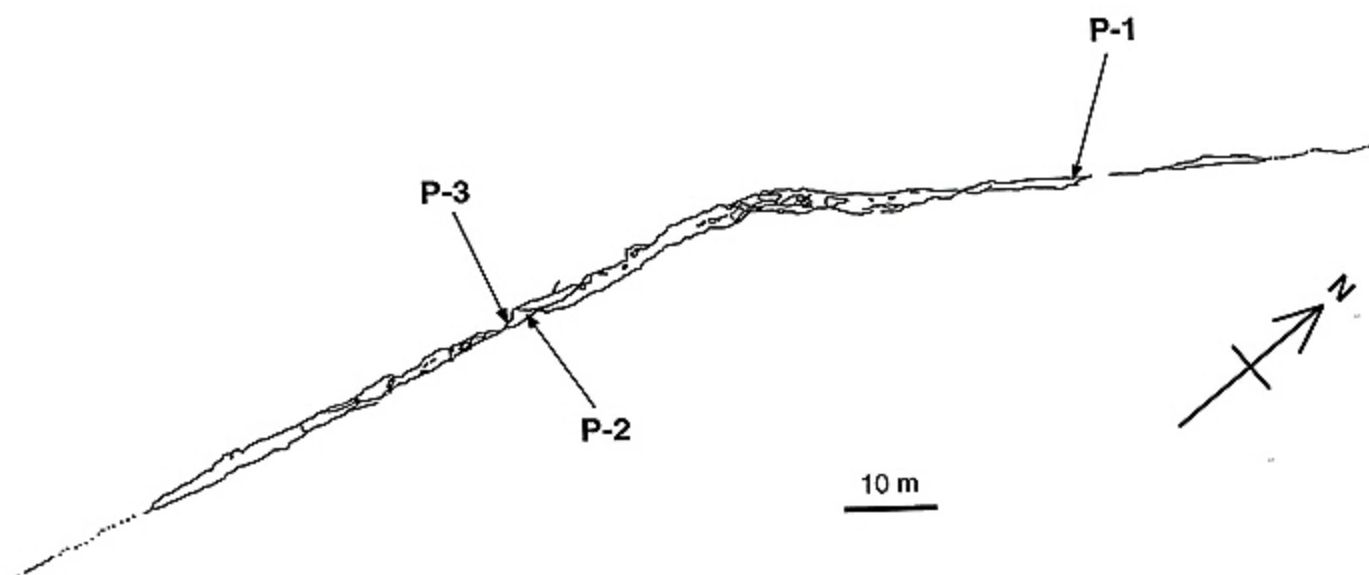


図3 「マネキンバレー」平面図。岡野 (1994ms) を修正
Fig. 3 Plan view of 'Mannequin Valley' (after Okano, 1994ms).

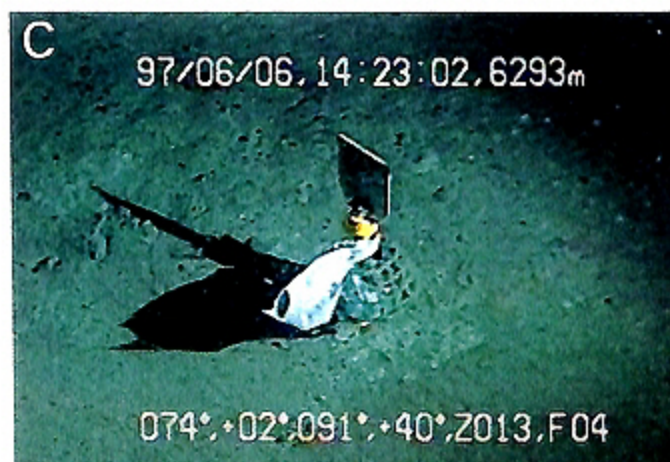


図4 P-1の変遷。A. 1992年7月19日 (「しんかい6500」第130次潜航)。B. 1992年7月24日 (「しんかい6500」第134次潜航)。C. 1997年6月6日 (同第373次潜航)。D. 1997年11月16日 (「かいこう」第55次潜航)。

Fig. 4 Temporal changes at the site P-1. A. "Shinkai 6500" Dive 130 (July 19, 1992). B. "Shinkai 6500" Dive 134 (July 24, 1992). C. "Shinkai 6500" Dive 373 (June 6, 1997). D. "Kaiko" Dive 55 (November 16, 1997).

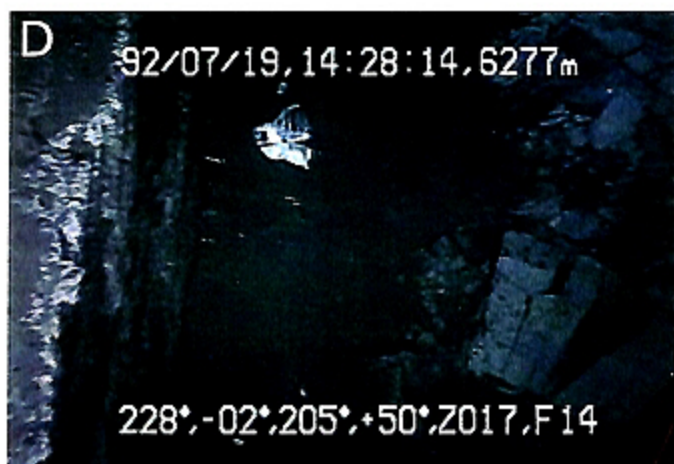
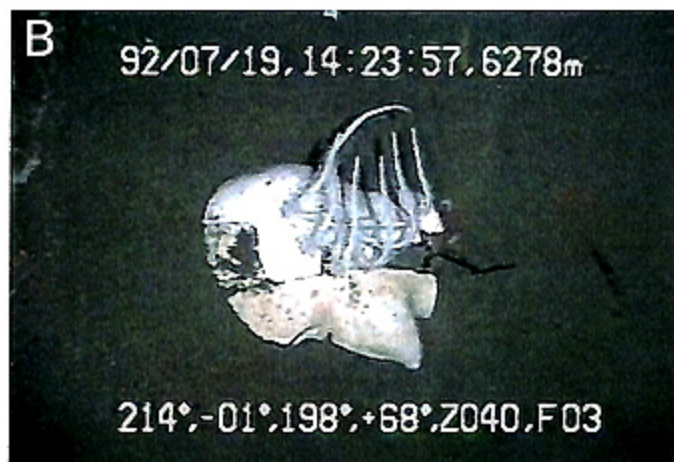


図5 P-2の変遷。A. 1991年7月15日。B. 1992年7月19日。C. 1991年7月15日。D. 1992年7月19日

Fig. 5 Temporal changes of occurrence at the site P-2. A. July 15, 1991. B. July 19, 1992. C. July 15, 1991. D. July 19, 1992.

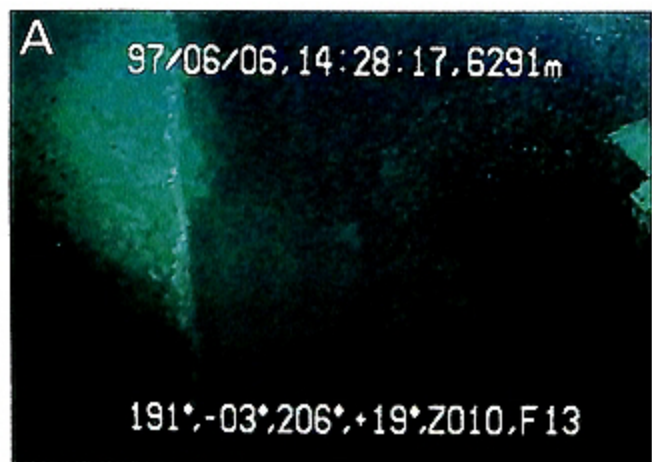


図6 P-2及びP-3の遠望。A. 1997年6月6日「しんかい6500」第373次潜航時のビデオ画像。B. 同11月16日「かいこう」第55時潜航時のビデオ画像。奥にP-3が見える

Fig. 6 Whale's eye views of P-2 and P-3 sites. A. VTR image obtained by "Shinkai 6500" Dive 373 (June 6, 1997). B. Image by "Kaiko" Dive 55 (November, 16, 1997).

3.2 P-2 (「マネキンサイト」及びその周辺)

P-2はこの割れ目のほぼ中央部に位置する(図3)。割れ目の深さは約2~3mである。1991年7月15日「しんかい6500」第67次潜航で、たまたま落ちていたマネキンの頭を船長の田代省三氏と潜航者の小川が発見して以来(堀田ほか, 1992), 計4回の観察が行われている。

藤岡ほか(1993)は、このマネキンの頭をスケールとして利用することにより、1991年7月からの1年間の堆積速度を約1~2 cmと見積もった(図5A, B)。またその周辺部では、1991年には無かった長さ約1 mのブロックが、1992年の潜航調査の際にいくつか観察されている(図5C, D)。

その後1997年までの5年間は、この地点を再訪することができなかったため、この期間の堆積環境の変化を知ることができない。

1997年6月6日の潜航調査の時点では、この地点の位置を確認できなかったが、潜航時に撮影されたビデオ画

像を元に、潜航後、同地点の映像を割り出すことができた。さらに同年11月の「かいこう」の第55次潜航調査により、同地点を確認することができた。

これらのビデオ画像を合わせて解析した結果、P-2付近は両壁の崩落により埋没していることが明らかになった(図6A, B)。特に、割れ目の東壁側は崩落により崖錘が発達しているのに対し、西壁側ではブロックとして崩落しているのが観察された。また、マネキンの頭そのものは発見できなかった。流されるとは考えがたいので、恐らく埋没したのであろう。

3.3 P-3 (「マネキンサイト」の南)

P-3はP-2の約10 m南に位置し、この割れ目の中央部に相当する(図3)。割れ目の深さはP-2とほぼ同じで2~3mであるが、幅は極端に狭い。この地点は、1991年7月15日「しんかい6500」第67次潜航で初めて観察されて以来、計4回の観察が行われている。



図7 P-3の変遷。A. 1991年7月15日。B. 1992年7月19日。C. 1997年6月6日。D. 1997年11月16日

Fig. 7 Temporal changes of occurrence at the site P-3. A. July 15, 1991. B. July 19, 1992. C. June 6, 1997. D. November 16, 1997.

この地点における割れ目の壁は、東西で異なった産状を呈している（図7）。東側の壁は風化が進んで表面の凹凸が目立つのに対し、西側の壁は東側と比べて新鮮で、ほぼ水平な層理面を観察することができる。ただしどちら側の壁も、過去4回の観察の間には目立った産状の変化は認められなかった。

また、割れ目の底には1991年以来、ビニール袋のゴミがいくつか散在しており、それらの産状の変化を確認することができた。この地点では、ビニール袋は割れ目の中央部ではなく、西側の壁に沿うように分布している。全体としてはビニール袋の数が減る傾向にあるが、よく観察すると同じ場所で埋没しつつあるものと、完全に流れ去ってしまったものの両方がある。ただし過去4回の観察の間には、埋没しつつあるものの方が多い。

4. 議 論

4.1 堆積環境

今回着目した開口性割れ目の先端部（P-1）と中央部（P-2～3）では、堆積環境が対照的であることが明らかになった。

割れ目の先端部では、過去5回の観察の結果、一旦埋没した後、ふたたび浸食されている。特に浸食が確認された1997年11月16日「かいこう」第55次潜航は、他の2潜航と観察の季節が異なっている（これらの2潜航は7月に行われている）。この観察事実、底層流の流向ないし流速が、時間とともに変化していることを示唆している。

また割れ目の先端部や外側は、内側に比べて堆積物の厚さが薄いことが知られている（例えば、堀田ほか、1992）。このような場所では、底層流の影響を受けやすいと考えられる。したがって、恐らく数カ月という周期で底層流の流向ないし流速が変化し、それに伴って割れ目の先端部の堆積環境も変化するのだろう。

一方、割れ目の中央部では、マネキンの頭やビニール袋の埋没、壁の崩落などで明らかのように、埋没過程の方が卓越している。ただし流失したと思われるビニール袋も存在することから、底層流の影響がまったく無いわけではないと考えられる。

例えば、P-3周辺の東側の壁が西側の壁よりも浸食を受けていることや、西側の壁に沿ってビニール袋が分布しているという観察事実、局所的に底層流が割れ目内部の東寄りを通ることにより、流速のより速い東側で浸食が、流速の遅い西側で堆積が進行したと解釈することができる。

ただし底層流の季節変化や、局所的な相違に関するデータはまだ限られているため、断定はできない。深海底における長期定点観測や、潜水調査船ないし無人探査器による定期的な潜航調査の必要があるだろう。

4.2 開口性割れ目の成因

ここでは開口性割れ目の成因について考察し、テクトニクス上の意義について議論する。

Ogawa et al. (1997)は、日本海溝とマリアナ海溝の海側斜面に発達する開口性割れ目の産状から、それらの成因を考察した。それによると、土圧理論に基づく斜面不安定と地震による強振動の組み合わせが、もっとも妥当であると結論している。

これまでの調査航海による精密地形調査より、この地域のお海底面が西、つまり海側に緩く傾斜していることが明らかになっている（小川、1994）。

また三陸沖日本海溝周辺地域では、陸上に甚大な被害を及ぼすような巨大地震だけでなく、地殻内の微小地震も頻繁に発生している。例えば「しんかい6500」第67次潜航が行われた1991年7月15日から、同第130次潜航が行われた1992年7月19日の約1年間に、三陸沖日本海溝周辺では、マグニチュード4以上の地震が86回、5以上が28回、6以上が5回発生している（気象庁、1996より検索。表3及び図1）。特にマグニチュード6以上の地震は、第130次潜航の直前（7月16日～18日）に集中して発生している。したがって第130次潜航では、これらの地震直後の割れ目の産状を観察していることになる。

この潜航では、割れ目中央部において1年前には無かったブロックが発見されている。このようなブロックの崩落は、1994年三陸はるか沖地震（ $M_w=7.7$ ；Tanioka et al., 1996）を挟んだ1997年6月の潜航時にも確認されている。このブロックの崩落が、地殻浅部で発生する微小地震によっても起こり得るのかは、地震時に堆積物に働く加速度の大きさと、堆積物自身の粘着力・引っ張り強度により決まるだろう。したがって本地域に発達する開口性割れ目の産状は、Ogawa et al. (1997)が指摘する割れ目形成のための必要条件を満たしていることになる。ここに十分な大きさの加速度が地震によって加われば、このような開口性割れ目が形成されるだろう。

次に、開口性割れ目形成のテクトニクス上の意義について考察する。太平洋プレートが沈み込みに伴って屈曲することにより、プレート表層付近に引っ張り応力が働き、horst and grabenという大地形を造ることはよく知

られている。また沈み込むスラブが太平洋プレートを引っ張ることにより、その表層で引っ張り応力が働くとも言われている（藤岡ほか，1993）。このように、プレート表層に働くと予想される引っ張り応力により、開口性割れ目が形成されるかも知れない。

残念ながらこれまでの潜水調査船による調査結果だけでは、開口性割れ目とテクトニクスとの関係を断定することはできない。ただし藤岡ほか（1993）も指摘しているように、割れ目の両壁からブロックが崩落することにより、割れ目自身は拡大していることは事実である。

したがって、開口性割れ目の成因がどのようなものであれ、その変遷を明らかにするためには、深海底における長期定点観測や、同じ地点への定期的な潜航調査が今後不可欠である。また、より詳細かつ効率的な精密地

形調査により、開口性割れ目の分布をマッピングすることも重要である。そのためには有人潜水調査船だけでなく、*Dolphin 3K*やテキサスA&M大学の[TAMU]²のような無人探査器を利用した曳航調査も有効だろう。

将来的には、屈折・反射地震波による探査や、微小地震の震源分布・メカニズム解により得られる地殻構造と応力状態、開口性割れ目の分布の相関を明らかにし、GPSによるプレートの相対運動等の運動学データと併せて議論することが必要である。このような調査・研究により、海溝海側斜面に発達する開口性割れ目の成因だけでなく、沈み込むプレートの大変形のメカニズムという問題をも解くことができるだろう。

Year	M	D	Time(H:M:S)	Lat.(N)	Long. (E)	Dep.(km)	Mw
1991	8	11	12 : 7 : 19	39.783	143.522	6	5.0
1992	4	13	14 : 58 : 45	39.118	142.395	51	5.1
1992	7	16	9 : 0 : 39	39.353	143.567	1	6.1
1992	7	17	23 : 14 : 23	39.320	143.647	0	5.0
1992	7	18	17 : 15 : 15	39.440	143.562	5	5.2
1992	7	18	17 : 19 : 60	39.430	143.512	0	5.8
1992	7	18	17 : 36 : 56	39.368	143.677	0	6.9
1992	7	18	17 : 39 : 2.3	39.403	143.437	0	6.9
1992	7	18	18 : 6 : 5.5	39.412	143.535	0	5.1
1992	7	18	18 : 9 : 55	39.517	143.638	0	5.2
1992	7	18	18 : 45 : 3	39.405	143.537	2	5.3
1992	7	18	19 : 20 : 11	39.417	143.377	0	6.4
1992	7	18	19 : 45 : 53	39.582	143.660	0	5.0
1992	7	18	19 : 59 : 38	39.402	143.520	0	5.7
1992	7	18	20 : 10 : 11	39.590	143.787	0	5.5
1992	7	18	20 : 46 : 12	39.267	143.793	5	5.3
1992	7	18	20 : 48 : 20	39.162	143.458	5	5.7
1992	7	18	21 : 2 : 40	39.145	143.453	7	5.8
1992	7	18	22 : 56 : 53	39.433	143.292	0	6.2
1992	7	18	23 : 45 : 46	39.408	143.515	7	5.2
1992	7	19	2 : 27 : 9.9	39.560	143.438	0	5.4
1992	7	19	3 : 12 : 11	39.112	143.500	0	5.5
1992	7	19	4 : 10 : 47	39.150	143.847	0	5.1
1992	7	19	5 : 55 : 11	39.593	143.553	0	5.7
1992	7	19	6 : 18 : 54	39.182	143.450	0	5.7
1992	7	19	6 : 29 : 20	39.172	143.622	2	5.1
1992	7	19	6 : 31 : 3.7	39.132	143.645	3	5.4
1992	7	19	14 : 10 : 25	39.183	143.947	0	5.2

表3 三陸沖日本海溝周辺で発生した地震（気象庁，1996）。検索条件は以下の通り：北緯37°00′～42°00′，東経141°00′～146°00′。期間：1991年7月15日～1992年7月19日。モーメントマグニチュード（Mw）5.0以上の地震

Table 3 List of earthquakes larger than Mw=5.0 which occurred near the Japan Trench off Sanriku (after JMA, 1996). Area: 37°00′-42°00′N, 141°00′-146°00′E. Period: July 15, 1991-July 19, 1992.

5. まとめ

1991年7月から1997年11月にかけて、有人潜水調査船「しんかい6500」及び無人探査器「かいこう」を用いた潜航調査により、三陸沖日本海溝海側斜面（水深約6,500 m）の堆積環境及び開口性割れ目の産状の変遷が明らかになった。

開口性割れ目の先端部（P-1）と中央部（P-2～3）では、堆積環境が対照的である。割れ目先端部では、底層流の影響を受けやすく、堆積・浸食過程が時間とともに入れ替わる。一方、割れ目中央部では埋没過程が卓越している。また、割れ目の両壁からのブロックの崩落により、割れ目自身は拡大している。

このような開口性割れ目の成因は、Ogawa et al. (1994)が指摘するように、土圧理論に基づく斜面不安定と地震による強振動の組み合わせが、もっとも妥当である。ただし、そのテクトニクス上の意義を議論するためには、有人潜水調査船や無人探査器を用いた同じ地点への定期的な潜航調査や、深海底における長期観測、割れ目分布のマッピング、さらに地殻構造やプレートの運動学との相関を明らかにしなければならない。

謝 辞

加藤千明博士（「しんかい6500」第373次潜航者）には快くVTR画像の使用を許可していただいた。「よこすか」／「しんかい6500」及び「かいいい」／「かいこう」の船長・スタッフ、ならびにマリワークジャパンの技術協力員の方々には、乗船中大変お世話になった。小角幸代氏には本報告の図・表の作成を手伝っていただいた。

文 献

藤岡換太郎・竹内 章・堀内一穂・岡野 肇・村山雅史・堀井義弘（1993）：日本海溝の陸側・海側斜面の地形とテクトニクス。第9回しんかいシンポジウム報告書，1-26。

堀田 宏・小林和男・小川勇二郎（1992）：日本海溝北部海側斜面の地殻構造「しんかい6500」第65，66，67次潜航報告。第8回しんかいシンポジウム報告書，1-15。

堀内一穂・門馬大和・満澤巨彦・藤岡換太郎（1993）：日本海溝海側斜面におけるナマコと底層流。第9回しんかいシンポジウム報告書，41-48。

Jones, G. M., Hilde, T. W. C., Sharman, G. F. and Agnew, D. C. (1978): Fault patterns in outer trench walls. *J. Phys. Earth*, 26, suppl. S85-S101.

気象庁（1996）：気象庁震源データ（CD-ROM版）。

Ludwig, W. J., Ewing, J. I., Ewing, M., Murauchi, S., Den, N., Asano, S., Hotta, H., Hayakawa, M., Asanuma, T., Ichikawa, K. and Noguchi, I. (1966): Sediments and structure of the Japan Trench. *J. Geophys. Res.*, 71, 2121-2137.

Masson, D. G. (1991): Fault patterns at outer trench walls. *Marine Geophys. Res.*, 13, 209-225.

Mitsuzawa, K. and Holloway, G. (1998): Characteristics of deep currents along trenches in the northwest Pacific. *J. Geophys. Res.*, 103, 13085-13092.

門馬大和・堀内一穂・満澤巨彦・海宝由佳（1993）：日本海溝三陸沖深海曳航調査（DK92-6-NHK）。第9回しんかいシンポジウム報告書，27-40。

小川勇二郎（1994）：「しんかい6500」によって観察された宮古沖日本海溝海側斜面の裂か群の特徴と成因。地学雑誌，103，706-718。

Ogawa, Y., Kobayashi, K. and Fujioka, K. (1997): Tension cracks on the oceanward slopes of the northern Japan and Mariana Trenches. *Marine Geology*, 141, 111-123.

岡野 肇（1994ms）：ビデオ画像解析による深海環境の研究—「しんかい6500」を用いた海溝域の例—。東海大学海洋学部海洋資源学科卒業研究論文，78。

Tanioka, Y., Ruff, L. and Satake, K. (1996): The Sanriku-oki, Japan, earthquake of December 28, 1994 (Mw 7.7): Rupture of a different asperity from a previous earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, 23, 1465-1468.

（原稿受理：1998年7月9日）