ガス抜き座毎のガス抜き量の計測結果について*

—沿層ボーリングによる地山ガス抜き量の計測(第1報)—

村 上 文 啓¹ 福 島 篤²
倉 野 重 光³ 香 室 修 造⁴

Gas Drainage Monitoring at Each Drilling Site

— Gas drainage from virgin area by in-seam boring (1st Report) —

by Tomohiro MURAKAMI¹, Atsushi FUKUSHIMA², Shigemitsu KURANO³ and Syuzo KAMURO⁴

1 ~ 3. The Coal Mining Research Centre, Japan, Chiyoda-ku, Tokyo 101

1. Present, Toyo Engineering Corp.

2. Present, The Institute of Energy Economics, Japan

3. Present, Takaoka Co., Ltd.

4. Mitsubishi Materials Co., Ltd.

Continuous measurement on gas drainage was carried out at 22 drilling sites of No. 1 and No. 3 slope area in Minami-Oyubari coal mine. In this coal mine, methane drainage method from seam-road using each drilling site where 40 ~ 60 boreholes were drilled as gas drainage area has been developed.

The results obtained are as follows.

- 1) Patterns of gas drainage at each drilling site can be divided into three types according to geological conditions.
- 2) With the exception of one example, it is recognized that cumulative gas drainage volume was in proportion to the peak value of gas drainage rate.
- 3) Cumulative gas drainage volume, cumulative gas drainage volume per coal reserve within the boring area of fan-shape and cumulative gas drainage volume per boring meter related to No. 1 slope area were different from these related to No. 3 slope area.
These values of No. 1 slope area were respectively 3.1, 3.7 and 2.4 times compared with No. 3 slope area.
- 4) With gas drainage at each drilling site of No. 3 dip area, the peak value of gas drainage rate at drilling sites with faults was about 2.0 than this value at drilling sites without faults.
- 5) Relationships between boring length per 1 m² of gas drainage and cumulative gas drainage per coal reserve divided according to geological conditions are recognized.

KEY WORDS: Gas Drainage, Boring, Virgin Area, Drilling Site, In-site Monitoring

1. 緒 言

ボーリングを利用した地山ガス抜きにより、石炭鉱山保安上重要なガス突出防止、応力解放、坑道気流中へのガス湧出の緩和等が期待されている¹⁾²⁾。

この地山ガス抜き工法の中で、沿層ボーリングに関して従来の研究を調査すると、計測結果については、西独におけるTreskowらやその他数多くの研究が発表されている³⁾ものの主として単一孔からのガス湧出量あるいは短期的かつ断続的な計測結果の報告である。一方、解析結果については、後藤ら、樋口らによって日本

の石炭鉱山におけるガス湧出問題に対してかなり詳細なシミュレーションが実施されているが孔壁周辺の吸脱着特性あるいは亀裂等を考慮した透過係数等の決定にはさらなる現場計測データの蓄積が必要であると考えられる^{4)~7)}。従って、最適なガス抜き工法を考える上で、短期間または不連続な計測結果から導出されたこれらの計測および解析結果をそのまま利用することはできない。

このような背景から、筆者らは沿層ボーリングによる地山ガス抜きが多く実施されていた旧南大夕張炭鉱(石狩炭田夕張地区)において25ヵ月にわたりガス抜き量を連続計測し、地山ガスの賦存状況およびガス抜きボーリングの作孔効果等についていくつかの知見を得たので報告する。

2. 計測現場の概況

当炭鉱は、昭和60年5月までは上部区域(山丈4.5~6.0m)、一卸区域(同4.8~6.3m)、三卸区域(一卸に同じ)の3区域稼行体制であったが、その後は上部区域と三卸区域の2区体制が昭和

* 1992年1月7日受付 7月24日受理

1. 正会員 (財)石炭技術研究所(現 東洋エンジニアリング(株))

2. 正会員 工博 (財)石炭技術研究所(現 (財)日本エネルギー経済研究所)

3. 正会員 工博 (財)石炭技術研究所(現 (株)高岳製作所)

4. 正会員 三菱マテリアル(株)

キーワード: ガス抜き, ボーリング, 地山, ボーリング座, 計測

Fig. 1 Typical geological column in Minami-Oyubari Coal Seam.

Table 1 Coal properties⁸⁾⁹⁾.

Depth(m)	No.9 level in No.1 slope -680	No.8 level in No.3 slope -730
Overburden(m)	920	970
Mean Stress (kgf/cm ²)	app. 250 (0.25 kg/cm ³ × 1,000 m)	
Strength (kgf/cm ²)	65	
Friability	Average particle dia. of cuttings is smaller 1/1.3 ~ 1/2.9 times than Akabira's and Takashima's	
Methane adsorption and desorption (m ³ /t)	adsorption (lab. test, 20 atm)	10.5
	desorption (site test)	8 ~ 9
Jamming aspects	In deeper drilling far from 20 ~ 30 m, jamming problems sometimes occurred	

和63年1月まで続き、平成2年の閉山まで上部区域のみを採掘していた。稼行対象炭層は、古第三紀系夕張層である。Fig.1に典型的な地質柱状図を、Table 1に石炭の性質を示す。

計測現場は、一卸9片下層北坑道のカス抜き座の合計6座（第4座～第9座）と三卸8片下層北坑道のカス抜き座の合計16座（第9座～第24座）である。前者の計測期間は昭和59年11月から昭和60年5月までの約7ヵ月間で、後者の計測期間は昭和61年6月から昭和62年11月までの約18ヵ月間である。

一般に、当炭鉱の掘進坑道における沿層ボーリングの方法は、引立手前約5mの坑道両側にガス抜き座を設置し、各座とも口径85mmのカス抜きボーリングを孔長60～70mを目標に坑道進行方向（先進方向）から作孔を開始し、約5度の振りで徐々にパネル方向（坑道側壁方向）に広げ、約90度まで広げる間に1座当たり30～40本作孔する。その後は各孔のカス抜き状態から経験的に判断して必要箇所10～20本の増孔を実施するので、全ボーリング数は1座当たり40～60本に達することになる。また、1座におけるボーリング所要日数は通常7日程度であるが、まれにガス抜き量が多い場合1ヵ月を要することもある。今回の計測では一卸第5座のカス抜きボーリング所要日数が約1ヵ月と最長であった。

Table 2 Period of boring and monitoring.

Slope	D. Site	Boring work period	Gas monitoring period
No.9	4	14. Nov. 1984 ~ 04. Dec. 1984	~ 16. Apr. 1985
	5	07. Nov. 1984 ~ 07. Dec. 1984	~ 17. Apr. 1985
	6	05. Mar. 1985 ~ 16. Mar. 1985	~ 19. May. 1985
	7	26. Feb. 1985 ~ 04. Mar. 1985	~ 14. May. 1985
	8	~	~ 14. May. 1985
No.8	9	12. Jun. 1986 ~ 19. Jun. 1986	~ 31. Aug. 1986
	10	21. Jun. 1986 ~ 26. Jun. 1986	~ 31. Aug. 1986
	11	16. Sep. 1986 ~ 25. Sep. 1986	~ 18. Dec. 1986
	12	05. Sep. 1986 ~ 15. Sep. 1986	~ 18. Dec. 1986
	13	10. Nov. 1986 ~ 19. Nov. 1986	~ 12. Feb. 1987
	14	31. Oct. 1986 ~ 08. Nov. 1986	~ 12. Feb. 1987
	15	27. Dec. 1986 ~ 06. Jan. 1987	~ 31. Mar. 1987
	16	18. Dec. 1986 ~ 24. Dec. 1986	~ 31. Mar. 1987
	17	23. Feb. 1987 ~ 11. Mar. 1987	~ 20. Apr. 1987
	18	24. Feb. 1987 ~ 05. Mar. 1987	~ 28. Jun. 1987
	19	18. May. 1987 ~ 23. May. 1987	~ 06. Sep. 1987
	20	30. Apr. 1987 ~ 14. May. 1987	~ 03. Aug. 1987
	21	09. Jul. 1987 ~ 13. Jul. 1987	~ 19. Nov. 1987
	22	14. Jul. 1987 ~ 30. Jul. 1987	~ 19. Nov. 1987
	23	24. Sep. 1987 ~ 13. Oct. 1987	~ 20. Oct. 1987
	24	21. Sep. 1987 ~ 14. Oct. 1987	~ 20. Oct. 1987

*1) Road excavation was usually re-started immediately after all boreholes were completed.

*2) Gas monitoring was started simultaneously as boring work.

A: Kaso-Kita roadway of No.9 level in No.1 slope area.
B: Kaso-Kita roadway of No.8 level in No.3 slope area.
Fig. 2 Schematic view of test field by in-seam drilling in Minami-Oyubari Coal Mine (plane map).

1. Orifice flow meter
2. Pressure difference transducer
3. CO sensor
4. Methane sensor
5. Suction pump for measurement of gas concentration
6. Main gas drainage pipe (8 in.)
7. Branch pipe for various measurement (8 in.)
Fig. 3 Various apparatus for underground measurement.

Fig. 4 Orifice flow meter (8 in.)

各座におけるボーリングの時期、計測期間をTable 2に示す。

3. 計測方法¹⁰⁾

Fig. 2には本計測を実施した区域の位置を示し、Fig. 3には計測装置の現場設置状況を示す。

昭和59年11月～昭和62年11月にわたる計測は主として、ガス吸引パイプ(8 in)からの1分間当たりの全ガス吸引量(以下、本論文では全ガス吸引量と称し、通常メタンガス濃度は80%程度である、 $\text{m}^3/\text{min.}$)およびメタン濃度値を、坑内から数km離れた坑外集中監視装置に伝送する方法を採用した。座毎のガス抜き量は、Fig. 3に示すように座毎に設けられた分管(Branch Pipe)にオリフィス流量計を取付け計測する。これら分管は下流にて他の座のガスとメイン管にて合流する。このデータ採取方法はコンピュータによる1分毎のモニタリングであるがデータ欠損等は、当炭鉱の協力を得て現場日誌により補填した。以下に各計測機器について述べる。

3.1 センサー

データ採取に使用したセンサーは、オリフィス流量計、メタンガス検知計、CO検知計である。このうち、メタンガス検知計は光干涉型(0~100%)、CO検知計は定電位電解式型(0~50 ppm)であり、市販品を使用した。一方、オリフィス流量計は市販品では、現場におけるガス量の変化に対応できないため、オリフィス板を上下移動して流量の計測範囲の調節ができる構造の偏心欠円オリフィス流量計を製作し試験に供した。Fig. 4にはオリフィス流量計の構造を示す。このオリフィス流量計を用いて、全ガス吸引量をオリフィス板前後の圧力差の平方根から求めた。なお、この流量計は現場計測の前に流量特性を決定するため、公害資源研究所(つくば)(現 資源環境技術総合研究所)の協力を得て校正試験を実施した。この試験では扇風機流量を約10段階に変化させオリフィススライド板を6段階に上下移動し各段階における流量とこのスライド板前後の圧力差の関係を求め、これらのデータを最小自乗法により直線近似し、オリフィス特性が $H = RV^2$ によく一致することを確認した。ここで、 H はスライド板前後の圧力差、 V は流速、 R はオリフィスによって決まる定数である。Fig. 5にはオリフィス流量計の校正試験結果を示す。現場計測においては全ガス吸引量の変化に応じてオリフィス板を上下させ常に最適な差圧条件下でデータを採取することができた。

3.2 伝送装置とコンピュータ

伝送様式は2種類用い、前期にはアナログ伝送方式を、後期にはデータの精度を向上させるためにデジタル伝送方式を採用した。

Fig. 5 Result of calibration test at National Research Institute for Pollution and Resources (Tsukuba).

Fig. 6 Schematic view of data transmission system.

Fig. 6にはデジタル伝送方式のシステム図を示す。

4. 計測結果

一般に、沿層ボーリングはFig. 7に示すように掘進切羽から約5 m手前の両側に設けたガス抜き座から炭層に沿って作孔され、これらのボーリング先端を結んでできる領域をガス抜き作孔領域と呼ぶと、本領域は一般に扇型となる。本計測区域のボーリングもFig. 7とほぼ同様に実施した。これら扇型部分、ボーリング座、断層等の位置をFig. 8に示す。この図をみると扇型部分は一部(破線で囲む部分)が重複するように設けられている。また、炭層のしゅう曲、膨縮などによってボーリングが予定孔長に達せず中断した箇所もみられる。一方、B地区の網かけ部はこの炭層の約22 m下を6ヵ月以前に岩石坑道が掘進され、その時実施された貫層ボーリングによる扇型部分であり、ガスがかなり抜けていると推測される。以下に、一卸および三卸に分けて計測結果を述べる。

4.1 一卸9片下層北坑道

Fig. 9に一卸9片下層北坑道各座の作孔開始から3週間の作孔長、1分間当たりのメタンガス100%換算の純ガス吸引量(以下、本論文では純ガス吸引量と称する、 $\text{m}^3/\text{min.}$)、メタンガス濃度の変化を示す。この計測対象区域では、断層が坑道方向にほぼ直

Fig. 7 Schematic view of in-seam drilling.

Table 3 Measurement results of each drilling site of (No.1 slope area)

DS : Drilling site (No.)
 CG : Cumulative pure gas drainage volume ($\times 10^4 \text{ m}^3$)
 CGR : Cumulative pure gas drainage volume per coal reserve of drainage area (m^3/t) (Specific gravity of coal is supposed as 1.3)
 BN : Number of boring (No.)
 TBL : Total boring length (m)
 CGM : Cumulative pure gas drainage volume per drilling meter (m^3/m)
 FPB : Faults or pre-boring
 MGR : Maximum pure gas drainage rate (m^3/min)
 DM : Days required reaching maximum pure gas drainage rate (days)
 D2 : Days required reaching below $2 \text{ m}^3/\text{min}$ (days)
 PT : Pattern of gas drainage

DS	CG	CGR	BN	TBL	CGM	FPB	MGR	DM	D2	PT
4	50.0	24.8	45	2,580	194	yes(faults)	12.9	9	37	A
5	78.0	68.0	55	2,260	345	yes(faults)	10.4	33	—*1)	B
6	12.0	6.6	21	1,136	106	yes(faults, pre)	2.7	10	11	B
7	29.0	16.5	23	1,210	240	yes(faults)	10.3	7	36	A
8	—	—	—	—	—	—	8.9	8	—*2)	A
9	—	—	—	—	—	—	13.9	3	—*2)	A

*1) Pure gas drainage rate of this base was unstable for 2 months.

*2) Available data are not many because of short term measuring.

角に3本存在し、その落差は1.5~2.0mであった。

ここで、特に第6座の純ガス吸引量がその他に比べて少なかった。この理由は、Fig. 8に示すように第6座のボーリング範囲の大部分が手前の第4座のボーリング範囲と重なったためである。

Table 3には、各座の総積算純ガス吸引量 (10^4 m^3)、石炭1t当たりの積算純ガス吸引量 (m^3/t) (ここでは便宜上、積算純ガス吸引量を、各ボーリング先端を結んでできる扇型部分の炭量^{a)}で割った値とする)、ボーリング本数、全孔長(m)、ボーリング1m当たりの積算純ガス吸引量 (m^3/m)、断層の有無、純ガス吸引量の最大値 (m^3/min)、同最大値に達するまでの日数 (days)、純ガス吸引量が $2 \text{ m}^3/\text{min}$ 以下の安定量に達するまでの日数 (days) 等についてまとめて記載する。

4・2 三卸8片下層北坑道

前節の一卸9片下層北坑道の場合と同様に、Fig. 10-A, B, CおよびTable 4に各座の計測結果、ボーリング状況を示す。当

a) 炭量は(扇型部分の面積) $\times$ (9片または8片の山丈の平均値) $\times$ (石炭の単位体積重量) から求めた。

Fig. 8 Location of gas drainage area by boreholes, faults, roadways, where measurements were executed.

Fig. 9 Relationship between geological conditions, pure methane gas drainage rate, methane concentration and borehole length at drilling bases No.4 ~ 9 (Kaso-Kita roadway of No.9 level in No.1 slope area, influenced by faults only).

坑道の場合、第9~14座までは断層が介在していないが、第15~24座には坑道進行方向にほぼ平行に約3.0mの落差の断層が介在している。また第21~22座直下(約22m下)には岩石風道が通っており、この坑道掘進時に貫層ボーリングによるガス抜きが行われ、この影響を受けて第19~24座では純ガス吸引量が少ないことが推測できる。

5. 計測結果の考察

Fig. 10-A Relationship between geological conditions, pure methane gas drainage rate, methane concentration and drilling length at drilling sites No.9 ~ 14 (Kaso-Kita roadway of No.8 level in No.3 slope area, influenced by no factors (faults etc.).

Fig. 10-B Relationship between geological conditions, pure methane gas drainage rate, methane concentration and drilling length at drilling sites No.15 ~ 18 (Kaso-Kita roadway of No.8 level in No.3 slope area, influenced by faults only).

Table 4 Measurement results of each drilling site (No.3 slope area)

DS : Drilling site (No.)
 CG : Cumulative pure gas drainage volume ($\times 10^4 \text{ m}^3$)
 CGR : Cumulative pure gas drainage volume per coal reserve of drainage area (m^3/t) (Specific gravity of coal is supposed as 1.3)
 BN : Number of boring (No.)
 TBL : Total boring length (m)
 CGM : Cumulative pure gas drainage volume per drilling meter (m^3/m)
 FPB : Faults or pre-boring
 MGR : Maximum pure gas drainage rate (m^3/min)
 DM : Days required reaching maximum pure gas drainage rate (days)
 D2 : Days required reaching below $2 \text{ m}^3/\text{min}$ (days)
 PT : Pattern of gas drainage

DS	CG	CGR	BN	TBL	CGM	FPB	MGR	DM	D2	PT
9	15.7	9.6	34	1,489	105	no	3.8	8	16	A
10	10.6	4.6	30	1,559	68	no	3.7	3	13	A
11	11.8	6.3	36	1,549	76	no	3.1	6	10	B
12	10.8	6.8	26	1,222	88	no	3.0	8	10	B
13	13.7	14.9	25	1,237	111	no	6.9	5	17	A
14	14.8	8.4	35	1,856	80	no	4.6	3	25	B
15	20.5	9.8	27	1,451	141	yes(faults)	8.5	3	25	A
16	18.1	7.9	28	1,327	136	yes(faults)	9.0	3	17	A
17	27.9	12.4	41	2,267	123	yes(faults)	7.9	4	36	A
18	27.6	16.7	39	1,938	142	yes(faults)	8.1	7	23	A
19	7.1	3.2	28	1,603	44	yes(faults, pre)	1.7	6	15	C
20	12.1	5.9	37	2,041	59	yes(faults, pre)	3.9	10	30	B
21	18.9	11.4	22	1,239	153	yes(faults, pre)	4.1	5	15	B
22	6.0	3.2	23	1,163	52	yes(faults, pre)	1.3	11	15	B
23	6.2	5.1	21	890	70	yes(faults, pre)	1.8	1	5	C
24	2.5	1.3	21	1,152	22	yes(faults, pre)	1.0	3	4	C

Fig. 10-C Relationship between geological conditions, pure methane gas drainage rate, methane concentration and drilling length at drilling sites No.19 ~ 24 (Kaso-Kita roadway of No.8 level in No.3 slope area, influenced by faults, pre-boring).

5・1 座毎の純ガス吸引量のパターン

計測した座毎の純ガス吸引量はほぼ1カ月経過後減衰するが、そのパターンはボーリング施工時期および地山ガス特性によりある一定の最大値を持つことが推測できる¹¹⁾¹²⁾。筆者らは、一卸、三卸各座の純ガス吸引量のパターンをFig.11に示すように3パターンに分けることを試みた。そしてこれらのパターンに基づき各計測値を分けけたものをTable 5に示す。

Fig. 11およびTable 5のAは、作孔に伴って純ガス吸引量(m^3/min)が鋭敏に反応しその量も大きく、作孔開始後直ちに純ガス吸引量が増加する場合で最大純ガス吸引量が一卸の場合約10~14 m^3/min 、三卸の場合約4~10 m^3/min を示し、作孔終了後ほとんど急激に減衰するパターンである。計測区域の一部が、ボーリング等の影響をまだ受けていない断層介在区域であることから判断して、このパターンを示す区域は、地山ガス量が大きく、かつガス透過率および孔隙率が大きい断層等を含む区域のガス抜きパターンを示すと考えられる。なお、断層の介在と孔隙率の関係については後藤らの報告¹³⁾があり、今回示すように断層が介在すれば純ガス吸引量が多いという計測結果と合わせて判断すれば、孔隙率と純ガス吸引量には関係があると推定される。

Fig. 11およびTable 5のBは、作孔と純ガス吸引量の関係がAほど鋭敏で大きくないが、最大純ガス吸引量が一卸で約3~8 m^3/min 、三卸で約2~4 m^3/min となるパターンである。この計測区域は断層が介在しない区域であることから、透過率および孔隙率がAに比較して小さく、断層に沿ったガスの流入といった現象はないと考えられる。また、既存のボーリングの影響を多少受けた区域であることから、包蔵ガス量の一部が去勢され、ガス量が少なくなったものと考えられる。

従って、ガス抜きパターンとしては、Aに比較してガス抜き有効範囲^{b)}が狭く、ガスの出方が鈍くかつ遅れ、純ガス吸引量も小さいものと考えられる。

Fig. 11およびTable 5のCは、ボーリング施工があれば純ガス吸引量が大きくなるといった相関関係が不明瞭で、しかも最大純ガス吸引量は三卸で約1~2 m^3/min と少ないパターンである。

Slope area	Pattern A	Pattern B	Pattern C
No. 1 slope area	10~14(m^3/min .)	3~8(m^3/min .)	—
No. 3 slope area	4~10(m^3/min .)	2~4(m^3/min .)	1~2(m^3/min .)

Pattern A : Gas drainage rate is very sensitive to boring work

Pattern B : Gas drainage rate is dull sensitive to boring work

Pattern C : Gas drainage rate is no sensitive to boring work

Fig. 11 Typical patterns of gas drainage curve at each drilling site.

b) ガス抜き有効範囲とは、以前に定義したガス抜き作孔領域(各ボーリングの先端を結んでできる扇型部分)とは異なり、断層等が存在し遠くからでもガスが流動する可能性があれば、その部分まで含めた領域を意味する。

Table 5 Patterns of gas drainage rate at each drilling site.
Kaso-Kita roadway of No.9 level in No.1 slope area

Drilling site	Patterns	Remarks
4	A	Influenced by faults only
5	B	
6	B	
7	A	Not available for drilling data
8	B	
9	A	

Kaso-Kita roadway of No.8 level in No.3 slope area

Drilling site	Patterns	Remarks
9	A	Influenced by no factors (faults etc.)
10	A	
11	B	
12	B	
13	A	
14	B	Influenced by faults only
15	A	
16	A	
17	A	
18	A	
19	C	Influenced by other factors (faults, pre-boring)
20	B	
21	B	
22	B	
23	C	
24	C	

この計測区域はボーリングの影響を受けた区域の純ガス吸引量経時曲線に見受けられることから、過去においてかなりのガス抜きが実施され、その効果によって地山ガスがほぼ完全に去勢された区域であると考えられる。ガス抜きボーリング施工を行ううえで、パターンCに示すように、純ガス吸引量が少なくなようなガス抜きが実施されることが理想であるが、パターンA、Bでもほぼ3週間経過後にはガスが抜けているため沿層ガス抜きボーリングによる効果は十分あると考えられる。

5・2 積算純ガス吸引量と純ガス吸引量の最大値との関係

Fig. 12に、全計測座における積算純ガス吸引量^{c)}と最大純ガス吸引量の関係を示す。図中の縦軸MGRが最大純ガス吸引量、横軸CGが積算純ガス吸引量である。なお、同図中の(●)は一卸第5座の計測結果であるが、計測開始から約1カ月の作孔日時を要したことで例外とすると、最小自乗法による直線近似式では、 $MGR = 0.30 \times 10^{-4} CG$ となった。一般に、北海道石狩炭田に限っても夕張地区と北空知地区のガス特性には顕著な差がある⁵⁾ことからこの式は一般性には欠けるが、この関係式を用いれば各座毎の最大純ガス吸引量を測定することでその座の積算純ガス吸引量を予想することができる。また、前に述べたFig. 11およびTable 5の純ガス吸引量の減衰パターンA、B、Cとの関係を見ると、一部例外はあるもののほぼ、Aのパターンに該当するものが最大純ガス吸引量および積算純ガス吸引量ともに大きく、B、Cのパターンの順で小さくなることが認められる。

5・3 三卸および一卸における計測結果の比較

従来、一卸は三卸に比較してガス量が多いことが経験的に言われていた。これに関して、以下に比較を行った。

Table 3およびTable 4より明らかなように、全般的に三卸8片下層北向坑道に比べて一卸9片下層北向坑道の積算純ガス吸引量が多いことがわかる。具体的な数字で示せば(既存ボーリングの影響を受けた^{d)}一卸の第6座と三卸の第19~24座を除く)。

c) 純ガス吸引量の計測期間は、オリフィス流量計の精度を考慮して、ほぼ2 m^3/min 以下となった時点で終了した。

積算純ガス吸引量については三卸が $10.6 \sim 27.9 \times 10^4 \text{ m}^3$ であるのに対して一卸は $29.0 \sim 78.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ と平均 3.1 倍多く、また石炭 1 t 当たりの積算純ガス吸引量についても三卸が $4.6 \sim 16.7 \text{ m}^3/\text{t}$ に対して一卸は $16.5 \sim 68.0 \text{ m}^3/\text{t}$ と平均 3.7 倍多い結果とな

Fig. 12 Relationship between maximum pure gas drainage rate and cumulative pure gas volume.

Fig. 13 Maximum value of pure gas drainage rate and days required to reach maximum gas drainage.

d) 石炭鉱山保安規定第 128 条の 3 によれば、ガス突出警戒区域における坑道掘進は、先進ボーリング先端孔底と作業面間に安全な距離を保つこととしている。当炭鉱では、孔底と作業面間を約 10m 以上保つこととし、さらに約 5 m 手前にボーリング座を設置してボーリング施工するため、前座からのボーリングにより形成されるガス抜き作孔領域は、現在施工中の座から形成される領域と一部が重なることになる。ここではこのことを「既存ボーリング・・・受けた」と表現した。

った。そして、ボーリング 1 m 当たりの積算純ガス吸引量も三卸が $68 \sim 142 \text{ m}^3/\text{m}$ であるのに対して一卸は $194 \sim 345 \text{ m}^3/\text{m}$ と平均 2.4 倍多い結果となった。

5・4 断層の影響

断層とガスについては、一般に相関関係が存在すると言われているが¹⁴⁾、現場にて実測し検討したものは見当たらない。そこで、筆者らは計測結果と断層の関係について検討した。

三卸 8 片下層北坑道の第 15～18 座のボーリングは断層に関係している。純ガス吸引量 (m^3/min) の最大値についてみれば、Table 4 より明らかなように第 15～18 座は断層に関係しない第 9～14 座の純ガス吸引量の最大値より平均 2.0 倍大きいことがわかる。また、ボーリング 1 m 当たりの積算純ガス吸引量も、影響のない場合に比べて 1.5 倍大きいことがわかる。

Fig. 13 には、一卸の断層に関係している座も含めて断層に関係がある座とそうでない座の、純ガス吸引量 (m^3/min) の最大値 : MGR を縦軸に、純ガス吸引量が $2 \text{ m}^3/\text{min}$ 以下となるまでの日数 : D2 を横軸にプロットし、最小自乗法による両者の相関関係式 $\text{MGR} = 0.27 \times \text{D2}$ を示した。図中の●印は断層にのみ関係がある座、○印はそうでない座で、数字は卸とボーリング座の番号を示している。同図から、両者の純ガス吸引量 (m^3/min) には明確な違いがあることがわかる。また、純ガス吸引量が $2 \text{ m}^3/\text{min}$ 以下になるまでの日数が 16 日以上では断層に関係したプロットが多く存在する。この理由として断層の存在によりガス抜き有効範囲が大きくなり遠くのガスまで吸引したと考えられる。

5・5 単位面積当たりの作孔長と石炭 1 t 当たりの積算純ガス吸引量

卸別かつ断層存在の有無、岩石風道からのガス抜きの有無によって各ガス抜き座を区分けし、座毎の積算純ガス吸引量と全作孔長との関係をプロットして Fig. 14 に示す。図中の●印は一卸 9 片下層北坑道の第 4, 5, 7 座 (断層存在) (ただし、第 6 座は前座ボーリングの影響を受けているため除外する)、○印は三卸 8

Fig. 14 Cumulative pure gas volume and total drilling rate at each drilling base.

Fig. 15 Relationship between CGR and BLA.

片下層北坑道の第15～18座(断層介在), ×印は同坑道の第9～14座(断層なし), ●印は同坑道の第19～24座(岩石風道からのガス抜き有り)である。同図から網かけ部分のみを限りでは、両者に弱い相関関係があるが、現実的には作孔長が大きくなるとしても必ずしも積算純ガス吸引量が大きくなるとは考えにくい。従って、この図では実績値の範囲を表示するのみとする。

また、石炭1t当たりの積算純ガス吸引量と単位面積当たりのボーリング長の関係を、三卸で断層ある場合とない場合、および一卸と3種類に分けてFig. 15に示す。

これをみると、3～21で最小自乗法による近似直線からややずれがあるものの、その他は上記の関係がほぼ直線関係になることがわかった。このことから石炭1t当たりどのくらいのガスを含んでいるかがわかれば、ガス抜き作孔領域内で単位面積当たりどのくらいのボーリング長にすればよいかが、現場の実績からわかる。従って、例えば、室内実験あるいは現場実測から求めたガス脱着量を $10.5 \text{ m}^3/\text{t}$ とすれば3卸で断層がある地山に対しては、単位面積当たりのボーリング長は $0.56 \text{ m}/\text{m}^2$ となることがわかる。

6. 結 言

沿層ボーリングによるガス抜き座毎の地山ガス抜き量の連続計測を実施した結果および考察について述べた。計測現場は南大夕張炭鉱一卸9片下層北坑道におけるガス抜き座合計6座と、三卸8片下層北坑道合計16座であり、計測期間は25ヵ月である。以下に示す結果を得た。

1) 各座毎の純ガス吸引量を3パターンに分類することを提案し、断層の有無や他箇所からのボーリングの影響を考慮することによって、これらのパターン分けが可能であることを示した。

2) 全測定座の積算純ガス吸引量CGRと純ガス吸引量の最大値MGRの関係は、計測した炭鉱に限れば、 $\text{MGR} = 0.30 \times 10^{-4} \text{ C G}$ で表わされることがわかった。

3) 従来経験的に言われてきた、一卸および三卸に関するガス特性について検討した。すなわち、採掘の影響を受けない地山区域(一卸における第4, 5, 7座と三卸における第9～18座)に限って、ガス抜き量を区域別に比較検討し、一卸における積算純ガス吸引量、石炭1t当たりの積算純ガス吸引量、ボーリング1m当たりの積算純ガス吸引量が三卸に比べてそれぞれ3.1, 3.7, 2.4倍と多いことがわかり、経験的事実を確認した。

4) 三卸区域について、各ガス抜き座の純ガス吸引量の最大値(m^3/min)と断層の関係を調べた結果、断層に関係するガス抜き座(第15～18座)の純ガス吸引量の最大値はその他の座(第9～14座)の値に比べて、平均2.0倍大きいことを確認した。

5) 単位面積当たりの作孔長と石炭1t当たりの積算純ガス吸引量の関係を、一卸と三卸別、断層介在の有無に分けて調べた結果、両者には相関関係が存在した。このことから、室内実験あるいは現場実測から求めたガス脱着量を用いれば全作孔長を予測することができると考えられる。

最後に、この一連の計測に協力して頂いた旧三菱石炭鉱業(株)南大夕張炭鉱関係各位、ならびにオリフィス製作と校正試験に協力して頂いた北海道東科計器(株)ならびに公害資源研究所(つくば)(現 資源環境技術総合研究所)の皆様に感謝する次第である。

この研究は通商産業省鉱山保安技術調査委託事業の一環として実施したものである。

参 考 文 献

- 1) 高橋ら：炭鉱技術，昭和59年7月，1～16，(1984)
- 2) Garcia, F. et al.: RI8985, US Bureau of Mine, (1985)
- 3) Treskow, A. et al.: Glückauf, 123, Nr. 19, 1214～1216, (1987)
- 4) 後藤ら：日鉱誌，100 [1162]，13～19，(1984)
- 5) 樋口ら：日鉱誌，98 [1132]，9～13，(1982)
- 6) 大牟田ら：日鉱誌，98 [1127]，21～27，(1982)
- 7) 深井ら：日鉱誌，104 [1210]，21～25，(1988)
- 8) 後藤ら：九州大学生産科学研究所報告，第78号，(1985)
- 9) 河野ら：九州大学生産科学研究所報告，第78号，(1985)
- 10) 石炭技研：昭和59年度鉱山保安技術調査委託事業成果報告書，143～168，(1984)
- 11) Curl, s. j.: Methane Prediction in Coal Mine, IEA Report, (1978)
- 12) 福島ら：日鉱誌，104 [1204]，23～28，(1988)
- 13) 後藤ら：日鉱会昭和56年度春季大会講演要旨集，59～60，(1981)
- 14) 棚井ら：夕張新炭鉱事故調査委員会報告書，(1982)