

論文 ポーラスコンクリートの水質浄化特性に関する実験的研究

新西 成男^{*1}・中澤 隆雄^{*2}・張 日紅^{*3}・今井 富士夫^{*2}

要旨:本研究は、低強度ではあるが、透水性および通気性に富む性質を有する火山性の軽石で、南九州に広く分布するばらを粗骨材としたポーラスコンクリートの水質浄化機能を検討するため、ポーラスコンクリートに用いる骨材の粒径や空隙率を変え、これらが浄化性能に及ぼす影響を検討した。

キーワード:ポーラスコンクリート、水質浄化、ばら、空隙率

1. はじめに

近年、地球温暖化をはじめ地球規模の環境問題に対する関心が高まっており、環境保全の重要性が盛んに叫ばれている。環境問題の一つである水質汚濁では、水域に生育する生物等によるその水系が有する浄化能力以上の流入負荷が工場、畜産および家庭排水等によってもたらされていることが要因の一つとして考えられる。

最近では、建設材料としてのコンクリートに対しても、力学的な性質のみならず、生物との共生あるいは環境保全を可能とする性質を有する、いわゆるエコマテリアルであることが強く求められるようになってきた。この一環として自然環境との調和、環境負荷低減が可能なポーラスコンクリートに関する研究が活発になされている¹⁾。ポーラスコンクリートは内部に連続した空隙を有するため透水性および透気性に富み污水を通水した場合には空間内部に生物膜も形成され、水質浄化効果²⁾も高まると考えられる。

ポーラスコンクリートの作製にあたって、コンクリート用粗骨材としては低強度ではあるが、南九州に広く分布し、透水性および通気性に富む火山性の軽石であるばら³⁾を用いれば、一層透水性および通気性に富むようになると思

われる。

そこで本論文では、ポーラスコンクリートの空隙率やばらの粒径の相違が水質浄化特性に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体作製

水質浄化試験用の供試体は $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体とした。また、圧縮強度試験用に $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体を作製した。使用したセメントは普通ポルトランドセメント（比重：3.15）である。粗骨材は、南九州地域に広く分布している火山性の軽石であるばらを使用した。骨材の粒径は、5～10mm（比重：1.35）と 10～15mm（比重：1.32）の 2 種類とし、水セメント比は全て 35 %とした。表-1に使用したコンクリートの配合を示す。

練混ぜ方法は、パン型水平強制練りミキサ（50 l）を用いて、セメントと粗骨材を 30 秒間空練りした後、水を 10 秒間で投入し、その後 20 秒間練混ぜを行った。次に 60 秒間放置した後 90 秒間練混ぜを行った。

締固めにおいては、角柱供試体と円柱供試体の両供試体とも 2 層に分けて、各層を 15 回突き固めた。打設後の供試体は 24 時間 $20 \pm 2^\circ\text{C}$

* 1 宮崎大学助手 工学部土木環境工学科 博士（工学）（正会員）

* 2 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 工博（正会員）

* 3 和光コンクリート株式会社 博士（工学）（正会員）

の恒温室に静置した後脱型した。なお湿度の制御は困難であり、50～70%の範囲で変動した。

脱型した供試体はJCIエココンクリート研究委員会が定めた空隙率の測定方法（重量法）¹⁾により空隙率を求めた。なお、配合において設定した空隙率と実測により求められた連続空隙率との差は2.5%以内で小さなものであった。空隙率を測定した後28日間水温20℃で水中養生を行った。養生直後の供試体を水路に浸漬した場合、水路内の水道水のpH値が12程度まで上昇するため、微生物の付着が阻害される。したがって、養生直後の供試体を60℃で96時間乾燥させた後、中性化促進装置を用いて、濃度50%の炭酸ガス（空気：炭酸ガス=1:1）を20l/分の流入量で約30日間通気させて供試体を中性化させた。その後、供試体を水路に設置し、水道水を2日間通水させた後の流入部および流出部のpH値を測定したところ、流入部で約7、流出部で約8であった。

2.2 水質浄化試験

水質浄化試験は、写真-1に示すような6列の水路を有する実験装置を作製し、室温を20℃に設定して行った。供試体は、表-1に示すように粗骨材に用いたばらの粒径が5～10mmで、空隙率20, 25, 30%の3種類および粒径10～15mmで空隙率20, 25, 30%の3種類のポーラスコンクリートを作製した。pH値を下げた供試体を各水路にそれぞれ3体直列に設置した。本装置の概略および供試体の設置状況を図-1に示す。

生物膜の形成度を示す評価項目として、TOC（全有機炭素）を設定し、栄養塩類の除去効果には、全リンおよび全窒素の除去率を用いた。水路に流入させた試験水は表-2に示すような人工汚水とし、その試験水を装置に外付けされたタンク内に貯留し、装置に供給した。供給した汚水は循環せず、一回のみ通

水させた。人工汚水の流入側における濃度は、炭素C：窒素N：リンP=100:5:1となるよう、

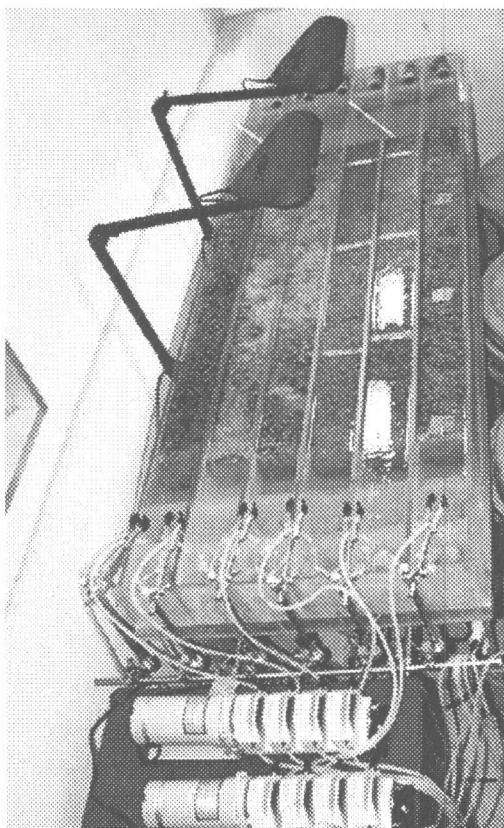


写真-1 水質浄化装置

表-1 ポーラスコンクリートの配合

骨材粒径 (mm)	空隙率 (%)	W/C (%)	単位量(kg/m ³)		
			W	C	G
5-10	20	35	89.93	256.94	851
	25		63.71	182.03	
	30		37.49	107.11	
10-15	20	35	101.54	290.12	801
	25		75.32	215.21	
	30		49.11	140.30	

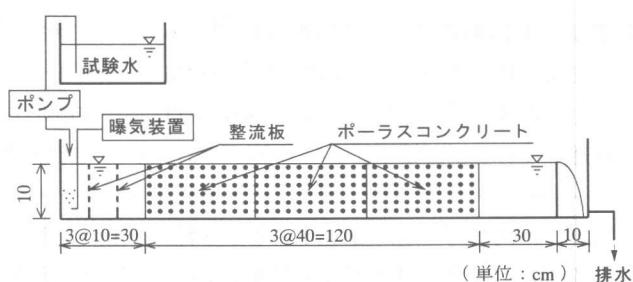


図-1 水質浄化装置の概略

表-2 汚水の組成

グルコース	100mg/l (40mg-TOC/l)
NH ₄ Cl	7.6mg/l (2mg-N/l)
Na ₂ HPO ₄	1.8mg/l (0.4mg-P/l)
NaCl	3.3mg/l
KCl	1.6mg/l
MgSO ₄	1.3mg/l

TOC40mg/l, 全リン 0.4mg/l, 全窒素 2mg/l に設定した⁴⁾。しかし、各水路の流入部のスペース（図-1に示した整流板を設置している長さ30cmの区間）に微生物が発生し、その微生物の量が各水路において異なったため、分解される汚水の量も異なり、流入部での汚水の濃度が相違したものと思われる。流入量は 20ml/分とし、滞留時間は空隙率 20%のもので約 2 時間、30%のもので約 3 時間とした。また、生物膜が発達した場合、酸素不足になる可能性があるため、酸素を供給するためにエアーポンプにより 1.5l/分の曝気を行った。さらに、藻類が繁殖しやすいように、蛍光灯により約 2000 ルクスの光を供試体に対して 12 時間毎に点灯および消灯した⁵⁾。流入開始後、水路の流入側と流出側の両側において、TOC、全リン(T-P)、全窒素(T-N)、DO(溶存酸素)濃度、pH、水温等の経時変化を測定した。なお、TOC の測定は全有機体炭素計、全リンおよび全窒素の測定は多項目迅速水質分析計、DO 濃度の測定には DO 計を用いた。流入部での DO 濃度は各水路ともほぼ 4 ~ 8mg/l、流出部では 1 ~ 4mg/l であった。ポータブル pH 計によって測定した pH 値は、流入部で 7 ~ 7.5、流出部で 7.5 ~ 8 であった。水温は各水路とも 18 ~ 20 ℃ であった。

3. 実験結果及び考察

3. 1 TOC濃度の経時変化

図-2(a)~(f)に TOC 濃度の経時変化を示す。各空隙率における除去率の変化を粒径別に比較

すると、粒径 5 ~ 10mm において、測定開始時(実験開始後 7 日目)で、空隙率 20%で約 60%，空隙率 25%で約 65%，空隙率 30%で約 70%と高い除去率を示し、しかも空隙率が高いものほど除去率が高くなっている。これは、空隙率が高いものほど生物膜の発達可能な空間が大きく、供試体内に既にかなりの生物膜が発達したことによると思われる。測定開始以降においては、約 60 日目までに流入濃度の高い TOC に対しても効果的に除去しており、空隙率 20%および 30%では約 80%，空隙率 25%では約 90%まで除去率が増加している。これは 30 日目頃から供試体内部に加え供試体表面にも生物膜が発達したことによると思われる。約 60 日以降では、各空隙率とも除去率にさほど変化は見られず約 60 ~ 80%の範囲を示している。一方、粒径 10 ~ 15mm において、測定開始時で、空隙率 20%，25%および 30%のどの空隙率とも 85%前後と高い除去率を示しているのは、既に供試体内に多量の生物膜が発達していることによるものと思われる。なお、空隙率 20%で TOC の初期流入濃度が 70mg/l と高い値になっているが、これはタンクにおいて人工汚水成分が均一に混ざっていなかった部分の汚水が供給されたためだと思われる。測定開始以降においては、空隙率 20%では約 90 日目頃まで除去率が減少した後はほとんど変化は見られない。それに対して、空隙率 25%の場合には終始ほとんど除去率に変化は見られない。また、空隙率 30%では約 40 日目頃まで減少し、その後若干ではあるが緩やかに増大しているのが分かる。なお、各空隙率とも約 70 日目頃から 60 ~ 80%の除去率で推移しているのが分かる。

両粒径における除去率の変化を空隙率別に比較すると、全ての空隙率において、約 50 日目以降では、粒径 5 ~ 10mm の方が 10 ~ 15mm のものよりも高い除去率を示している。

3. 2 全リン濃度の経時変化

図-3(a)~(f)に全リン濃度の経時変化を示す

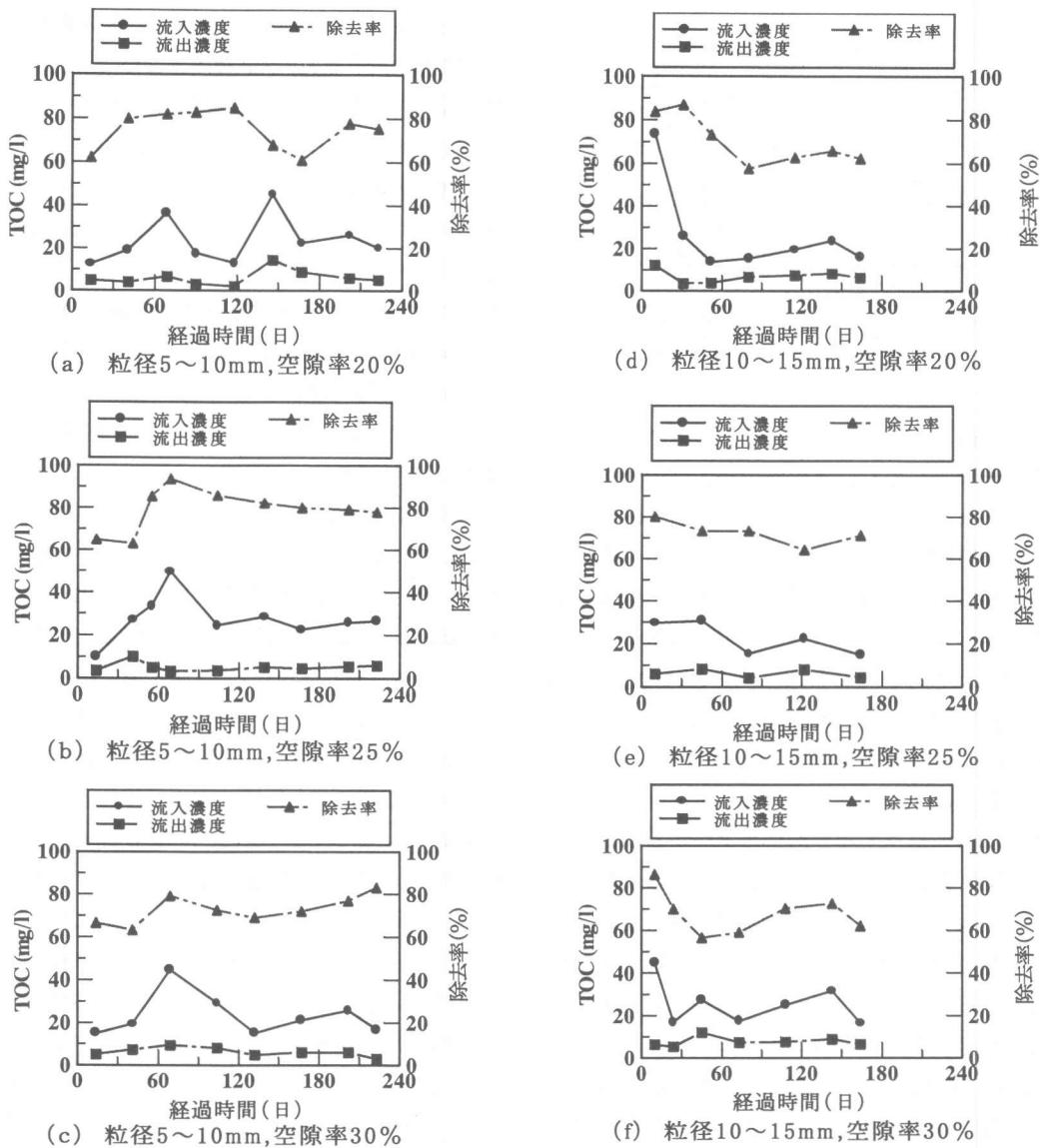


図-2 TOC濃度の経時変化

す。図より、各空隙率における除去率の変化を粒径別に比較すると、粒径5~10mmにおいて、空隙率20%では除去率にほとんど変化が見られない。それに対して、空隙率25%および30%では、約60日目において、それぞれ70%および50%まで除去率の上昇が見られるが、その後次第に減少しているのが分かる。一方、粒径10~15mmでは、空隙率20%において約40日頃まで除去率が若干減少し、その後緩やかに増

大しているのが分かる。また、空隙率25%では、約40日頃で最大の除去率を示したものを受けた後は一定の除去率を示している。さらに、空隙率30%では測定開始時には約70%程度の高い除去率を示しているが、次第に減少していく傾向が見られた。これらより、粒径5~10mmの場合、約60日目頃では空隙率25%が全リンの除去に対して効果的であったが、約200日頃では各空隙率とも同程度の除去能力を有して

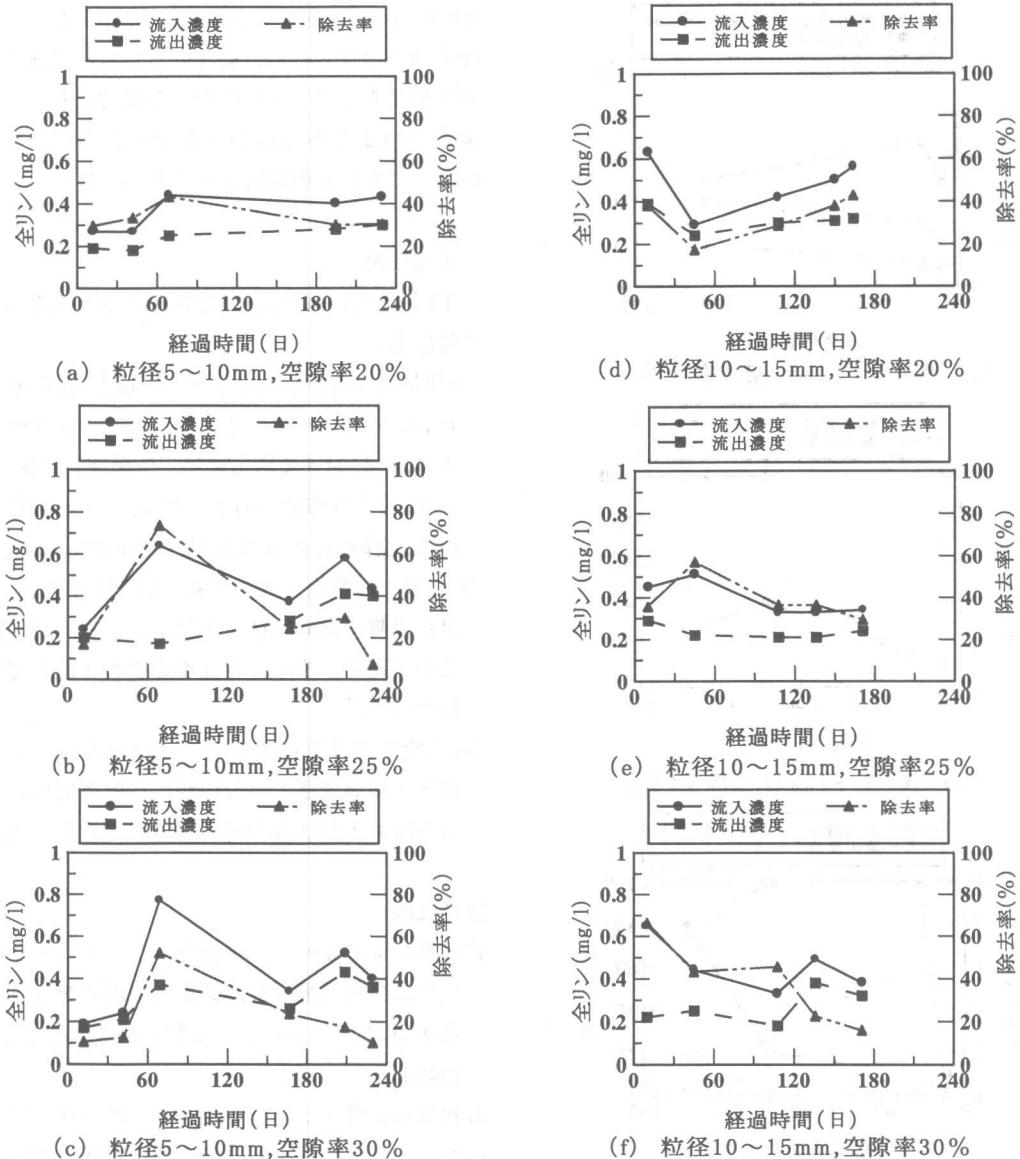


図-2 全リン濃度の経時変化

いたことが分かる。また、粒径 10 ~ 15mm の場合、測定開始直後では空隙率 30%，約 170 日目頃では空隙率 20%が全リンの除去に対して効果的であった。

粒径の違いが除去率に及ぼす影響を空隙率別に比較すると、空隙率 20%では傾向は若干異なるが、両粒径とも 20 ~ 40%の除去率を示しており顕著な差異は見られない。空隙率 25%では、除去率の変化の傾向は類似しており、70

日目程度までは粒径 5 ~ 10mm の方が除去率が上昇しているが、その後は両粒径とも約 20 ~ 40%の除去率を示している。空隙率 30%では、終盤において両粒径とも除去率が約 20%以下まで減少しているが、測定開始直後においては粒径 10 ~ 15mm の方が除去効果が高いことが分かる。これらより、同一空隙率の場合、約 70 日目頃では粒径 5 ~ 10mm の方が全リンの除去に対して効果的であった。しかし、約 170 日目

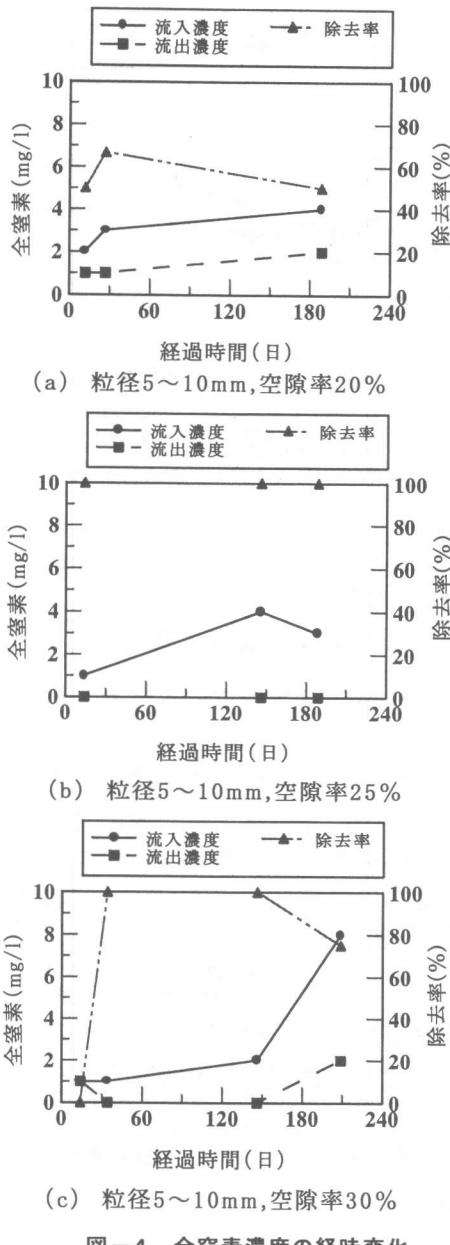


図-4 全窒素濃度の経時変化

頃では両粒径とも除去効果に大差はなかった。

3.3 全窒素濃度の経時変化

粒径 5 ~ 10mm における全窒素濃度の経時変化を図-4(a)~(c)に示す。図より、空隙率 20% では 50 ~ 70% の間で除去率が変化しているのに対し、空隙率 25% や 30% では、流入濃度にはばらつきはあるものの約 150 日目頃まで

100% と高い除去率を示した。これらより、空隙率 30% の場合には、約 150 日目以降で除去率が幾分低下しているものの、全般的にみて、空隙率 20% よりも 25% や 30% の方が全窒素の除去に対して効果的であるといえる。

4.まとめ

本研究で得られた成果を要約すると以下のようになる。

- (1) 骨材として骨材粒径 5 ~ 10mm および 10 ~ 15mm のばらを用いたポーラスコンクリートの TOC に対する除去率は、実験開始後約 60 ~ 70 日目以降において、約 60 ~ 80% 程度であり、空隙率、粒径の影響はさほどなかった。
- (2) 全リンの除去に対しても、実験開始後約 70 日目以降では両粒径ともほぼ 20 ~ 40% の除去率であり、また、空隙率の影響も顕著ではなかった。
- (3) 全窒素の除去に対して、粒径の違いによる影響は検討できていないが、空隙率については 25% や 30% の方が効果的であった。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリート研究委員会報告書（自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望），1995.11
- 2) 水口裕之ほか：連続空隙を持つポーラスコンクリートの水質浄化機能に及ぼす空隙寸法及び空隙率の影響、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.1, pp.1045-1050, 1997.6
- 3) 土質工学会九州支部編：九州・沖縄の特殊土、九州大学出版会, pp.171-178, 1983.7
- 4) 本田典章, 友沢 孝：多孔質コンクリートを用いた付着型担体の性能評価試験、第 27 回下水道研究発表会講演集, pp.272-274, 1994
- 5) 岡田美穂ほか：光強度がおよぼす沿岸環境の付着生物特性とそれに伴う水質変化、土木学会第 52 回年次学術講演会概要集, 第 7 部, pp.216-217, 1997.9