

論文 鉄筋コンクリート構造物の塩害調査のためのせん孔式試料採取法の適用性

渡辺祥正^{*1}・大濱嘉彦^{*2}・出村克宣^{*3}

要旨: 本研究では、鉄筋コンクリート構造物における塩化物イオン定量のための小径ドリルを用いたせん孔式試料採取法の確立を目的として、練混ぜ時に塩化物イオンを添加したコンクリート供試体の小径ドリルによるせん孔を行い、定量される塩化物イオン量に及ぼすせん孔数及び深さの影響について検討している。その結果、小径ドリルによるせん孔式試料採取法が、鉄筋コンクリート構造物の塩害調査のためのせん孔式試料採取法として適用できることを確認している。更に、せん孔式試料採取法によって行った既存鉄筋コンクリート構造物中の塩化物イオン量の調査結果について考察している。

キーワード: 塩化物イオン、試料採取法、小径ドリル、せん孔、コア切取り

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の塩害調査を実施するためには、構造物から試料を採取する必要があり、従来から、コンクリートのコア切取りを行い、そのコアより試料を採取することが一般的である。しかしながら、コア切取りによる試料採取は、構造物に大きな損傷を与える危険を伴い、更に、その作業には多くの時間と労力を要するなどの諸問題を含んでいる。そこで、最近では、小径ドリルによる試料採取法が実施されているが¹⁾、その詳細な手順については確立されておらず、現場技術者の判断に任されることが多い。

本研究では、鉄筋コンクリート構造物の塩害調査のための小径ドリルを用いた試料採取法の確立を目的として、塩化物イオンを添加したコンクリート供試体の小径ドリルによる試料採取とコア切取りを想定した試料採取を行い、採取法の違い及び、せん孔時のせん孔数及び深さが定量される塩化物イオン量に及ぼす影響について検討する。更に、既存鉄筋コンクリート構造物への適用結果について考察し、せん孔式試料

採取法を用いた鉄筋コンクリート構造物の塩害調査手法を提案している。

2. 供試体によるせん孔式試料採取法の適用性の検討

2.1 使用材料

セメントとしては、普通ポルトランドセメント、粗骨材としては、阿武隈川産川砂利(粒径: 5~20mm)、細骨材としては、阿武隈川産川砂(粒径: 5mm 以下)を使用した。又、添加塩化物イオン量調整剤としては、JIS K 8150(塩化ナトリウム)に規定する試薬 1 級の塩化ナトリウム(NaCl)を使用した。

2.2 使用機器

- (1) ドリル: 回転数 20.1s⁻¹ の市販の電動式振動ドリルを用いた。
- (2) ドリル刃: 直径 10mm のコンクリート用小径ドリル刃を用いた。

2.3 試験方法

2.3.1 供試体の作製

JIS A 1138(試験室におけるコンクリートの作り方)に準じて、単位セメント量 300kg/m³、細骨材率 45.0%、添加塩化物イオン(Cl⁻)量を 0, 0.05, 0.10,

*1 日本大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 日本大学教授 工学部建築学科、工博 (正会員)

*3 日本大学助教授 工学部建築学科、工博 (正会員)

Table 1 Mix Proportions of Concretes with Various Added Cl⁻ Contents.

Slump (cm)	Air Content (%)	Water-Cement Ratio (%)	Sand-Aggregate Ratio (%)	Added Cl Content (kg/m ³)	Mix Proportions (kg/m ³)				
					Cement	Water	Fine Aggregate	Coarse Aggregate	NaCl
10.0	2.2	62.0	45.0	0	300	185	824	1008	0
				0.05					0.082
				0.10					0.164
				0.30					0.492
				0.60					0.984
				0					0
18.0	2.2	66.0	45.0	0.05	300	198	809	989	0.082
				0.10					0.164
				0.30					0.492
				0.60					0.984

0.30 及び 0.60kg/m³ とし、そのスランプが 10.0 及び 18.0cm となるように水セメント比を調整した、Table 1 に示す配合の供試コンクリートを練混ぜ、寸法 10 × 10 × 40cm に成形した。その後、JCI-SE 4 (温水法によるコンクリートの促進強度試験方法)に準じて、1 日湿空[20°C, 80%(RH)]養生後に脱型し、1 日温水(70 °C)養生を行ってから、更に 7 日乾燥[20°C, 50%(RH)]養生を行い、供試体を作製した。なお、供試コンクリートの添加塩化物イオン量については、塩化ナトリウムを添加して調整した。又、温水養生については、供試体をポリエチレン袋に密封して行った。

2.3.2 試料の採取

供試体から、次の方法で試料を採取した。

- (1) 小径ドリルによる試料採取(せん孔法)
 - ① 供試体表面から一定の深さ 5cm まで、2, 4 及び 8 箇所でせん孔を行ってコンクリート粉を採取し、2, 4 及び 8 箇所ごとにコンクリート粉を混合して、せん孔数ごとの試料とした。
 - ② 供試体表面から深さ 1, 2 及び 5cm まで、いずれの深さの場合も 8 箇所でせん孔を行ってコンクリート粉を採取し、深さごとに 8 箇所のコンクリート粉を混合して、せん孔深さごとの試料とした。

なお、同一配合条件の供試体 3 個について、各供試体ごとに①及び②の操作を適用し、各せん孔条件ごとに 3 個の試料を得た。又、各せん孔箇所の間隔は、5cm とした。

- (2) 供試体の破碎による試料採取(コア切り取り法)

実構造物のコア切り取りによる試料採取を想定して、

Fig. 1 に示すように、供試体の中央部をコンクリー

トカッターで厚さ約 5cm の板状に切断した。得られたコンクリート板(*の部分;寸法、10 × 10 × 5cm)の全量をハンマーで破碎し、更に、スタンプミルで粒径 1mm 程度まで粗碎して、その粗碎物約 50 g を試料として採取した。なお、同一配合条件の供試体 3 個について、各供試体ごとに、この試料採取法を適用し、3 個の試料を得た。

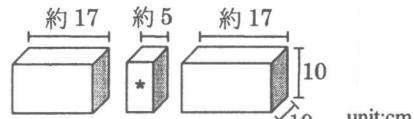


Fig. 1 Sampling of Concrete Plate from Specimen.

2.3.3 可溶性塩化物イオンの抽出及び試験溶液の調製

JCI-SC 4(硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法)に準じて、2.3.2 で採取した試料を 105°C の乾燥機中で恒量になるまで乾燥した後、乳鉢を用いて粉碎した。更に、JIS Z 8801(標準ふるい)に規定される 149 μm のふるいを全通させ、再び、乾燥機中で恒量になるまで乾燥したものを分析用試料とした。次に、JCI-SC 4 に準じて、分析用試料から塩化物イオンを抽出した。まず、200ml のビーカーに蒸留水 100ml をはかり取り、電熱ヒーターを用いて水温を 50°C に上げ、分析用試料 5.00g を加えた。50°C に保温した状態で、マグネチックスターラーを用いて、30 分間かくはんして、可溶性塩分を抽出した。抽出した溶液を吸引汎過装置を用いて、孔径 0.45 μm のメンブランフィルターで汎過し、汎液を常温まで冷却した。全量が再び 100ml となるように、汎液に蒸留水を加えてかくはんし、密閉容器に移して試験溶

液とした。

2.3.4 塩化物イオンの定量分析

日立製作所製イオンクロマトグラフ(L-6000型)を用いて、試験溶液の塩化物イオンの定量分析を行った。

2.4 試験結果及び考察

Fig. 2には、せん孔深さ5cmとしたせん孔法によって試料を採取した、スランプ18.0cmで添加塩化物イオン量 0.60kg/m^3 のコンクリートの定量された塩化物イオン量とせん孔数の関係を示す。せん孔数2, 4及び8箇所ごとに3試料ずつ定量した場合、各せん孔数における定量された塩化物イオン量のばらつきはほとんど認められない。又、各せん孔数における定量された塩化物イオン量の平均値の差異もほとんど認められない。

Fig. 3には、せん孔数8箇所としたせん孔法によって試料を採取した、スランプ18.0cmで添加塩化物イオン量 0.60kg/m^3 のコンクリートの定量された塩化物イオン量とせん孔深さの関係を示す。各せん孔深さにおける定量された塩化物イオン量の3試料間のばらつきはほとんど認められない。せん孔深さが深いほど、定量された塩化物イオン量が減少する傾向にあるが、これは、乾燥養生中に水分と共に塩化物イオンがコンクリート表面に移動したためと推察される。以上のことから、せん孔法は、せん孔数及びせん孔深さにかかわらず、定量値のばらつきが小さい試料採取法であると言える。

Fig. 4及びFig. 5には、コア切り法によって試料を採取した、スランプ10.0及び18.0cmのコンクリートの定量された塩化物イオン量と添加塩化物イオン量の関係を示す。同一配合のコンクリートから採取した試料であっても、定量結果にばらつきが大きく、特に、添加塩化物イオン量が増加するに従って、そのばらつきは大きくなる傾向にある。添加塩化物イオンはセメントペースト部分に存在しており、セメントペースト中の塩化物イオン濃度が増加するに伴って、そのばらつきが増加しているものと考えられる。このことは、採取時ごとに塩化物イオンを含有するセメントペースト部分と骨材部分との採取割合がばらつきやすいことに起因するものである。従って、コア切りにより試料を採取する場合、で

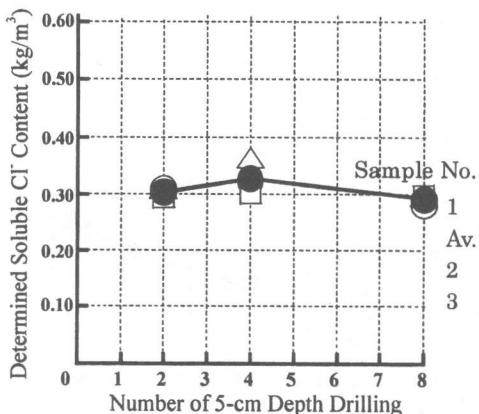


Fig. 2 Number of 5-cm-Depth Drilling vs. Determined Soluble Cl^- Content of Concrete with Slump of 18.0cm and Added Cl^- Content of 0.60kg/m^3 , Sampled by 5-cm-Depth Drilling.

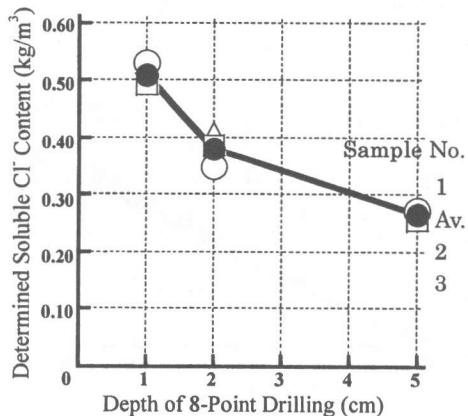


Fig. 3 Depth of 8-Point Drilling vs. Determined Soluble Cl^- Content of Concrete with Slump of 18.0cm and Added Cl^- Content of 0.60kg/m^3 , Sampled by 8-Point Drilling.

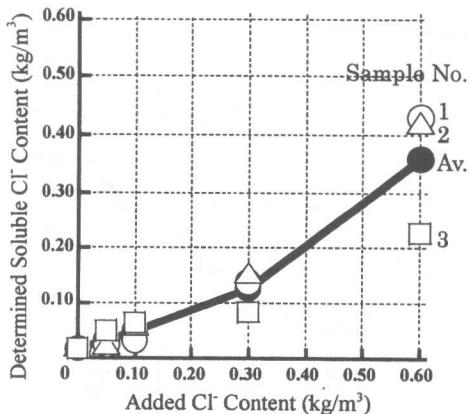


Fig. 4 Added Cl^- Content vs. Determined Soluble Cl^- Content of Concretes with Slump of 10.0cm, Sampled by Coring Method.

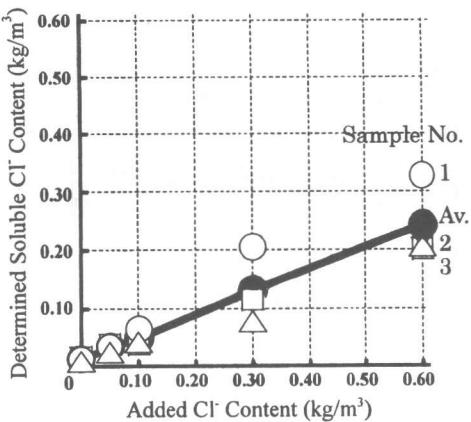


Fig. 5 Added Cl⁻ Content vs. Determined Soluble Cl⁻ Content of Concretes with Slump of 18.0cm, Sampled by Coring Method.

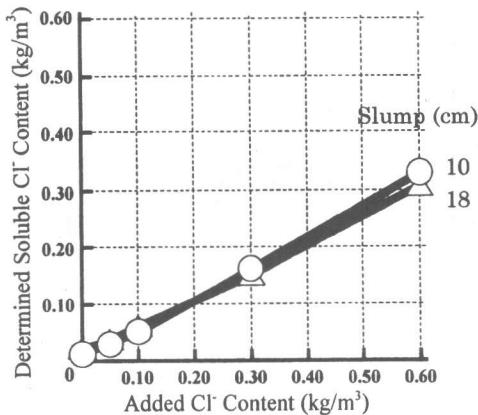


Fig. 6 Added Cl⁻ Content vs. Determined Soluble Cl⁻ Content of Concretes, Sampled by 5-cm-Depth / 8-Point Drilling.

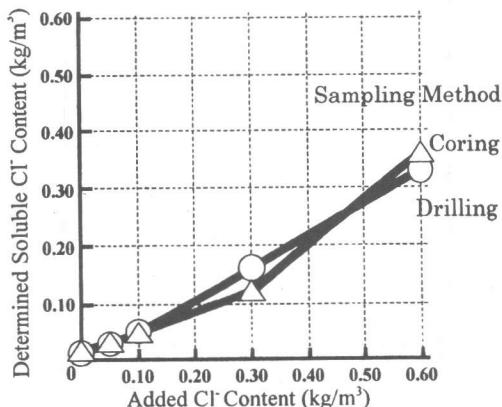


Fig. 7 Added Cl⁻ Content vs. Determined Soluble Cl⁻ Content of Concretes with Slump of 10.0cm, Sampled by 5-cm-Depth / 8-Point Drilling and Coring Methods.

きるだけ大きい寸法のコアを採取し、コアのすべてを粉碎して試料とする必要がある。

Fig. 6 には、せん孔深さ 5cm でせん孔数 8 箇所としたせん孔法によって試料を採取した、すべての配合のコンクリートの定量された塩化物イオン量と添加塩化物イオン量の関係を示す。本研究では、温水抽出による可溶性塩化物イオンの定量を行っている。従って、定量された塩化物イオン量と添加塩化物イオン量が一致しないのは、セメントペースト中に塩化物イオンが固定されたためと推察される。いずれのコンクリートの定量結果も、定量された塩化物イオン量は、添加塩化物イオン量の約 1/2 であり、本研究で調製したコンクリート中では、添加した塩化物イオンの約半分が固定されていることが示唆される。

Fig. 7 及び Fig. 8 には、せん孔深さ 5cm でせん孔数 8 箇所としたせん孔法及びコア切取り法によって試料を採取した、スランプ 10.0 及び 18.0cm のコンクリートの塩化物イオンの定量結果の比較を示す。Fig. 4 及び Fig. 5 に示したように、コア切取り法により採取した 3 試料の定量値にばらつきが認められたが、3 個の試料の定量値を平均すれば、せん孔法とほぼ同様の定量結果が得られる。このことから、せん孔法とコア切取り法のどちらも、定量結果には大きな差異がないことが分かる。以上の試験結果から、コンクリート中の塩化物イオン定量のための試料採取法として、せん孔法が適用できるものと推察される。

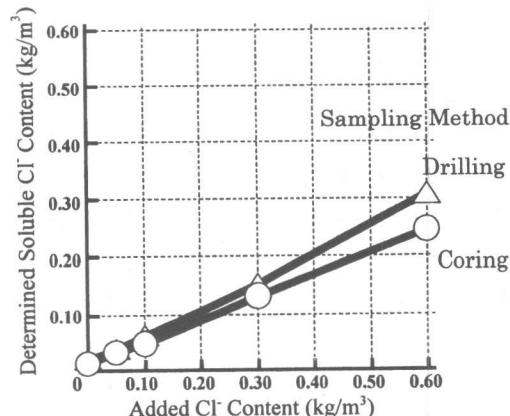


Fig. 8 Added Cl⁻ Content vs. Determined Soluble Cl⁻ Content of Concretes with Slump of 18.0cm, Sampled by 5-cm-Depth / 8-Point Drilling and Coring Methods.

3. 実構造物へのせん孔式試料採取法の適用

せん孔式試料採取法を実構造物に適用するために、供試体によるせん孔式試料採取法の適用性の検討結果を踏まえて、その作業の詳細な手

順として、Fig. 9 のフローチャートを作成した。次に、このフローチャートに従って、鉄筋コンクリート構造物の塩化物イオン浸透量の調査を行った。

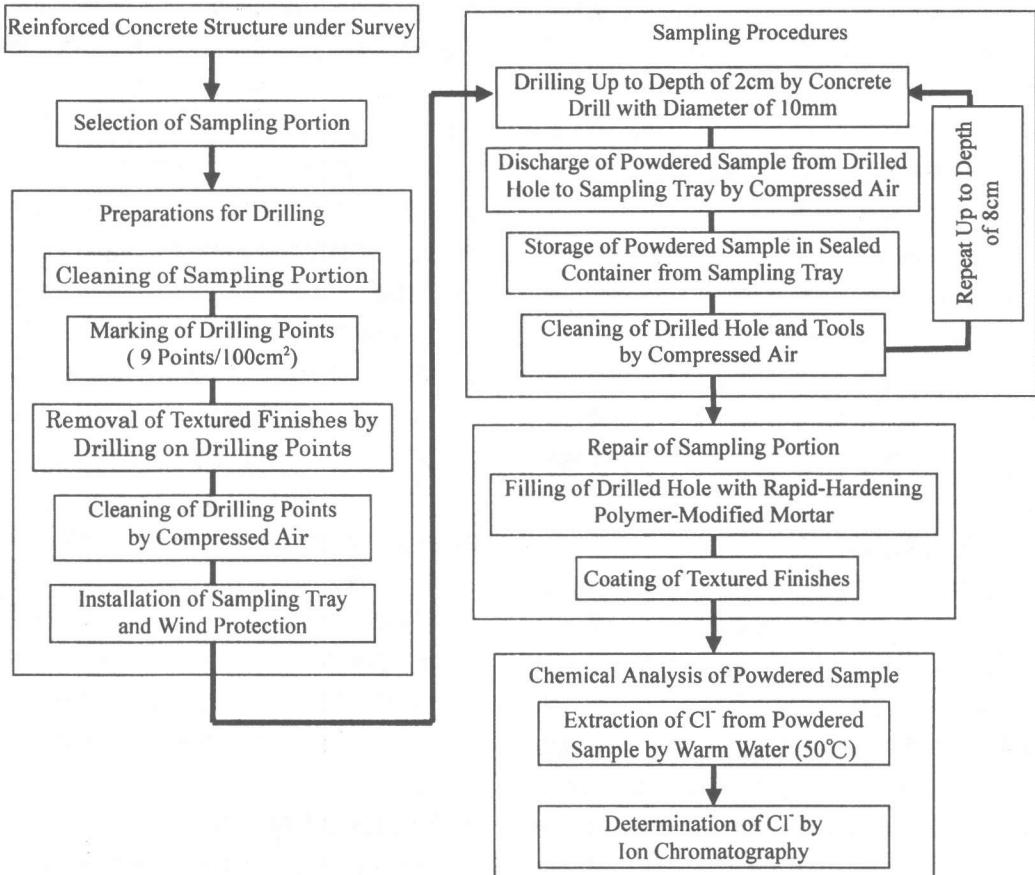


Fig. 9 Flow Chart of Drilling Method.

3.1 調査方法

3.1.1 調査建物の選定

調査建物として、福島県会津若松市の市街地に建設された、竣工後 30 年の鉄筋コンクリート造 3 階建での公共建築物を選定した。

3.1.2 試料採取箇所の選定

試料採取箇所は建物の東西南北の 4 外壁とし、各外壁の中央部で、表面にひび割れ及び浮きがなく、その建物の外壁をよく代表している箇所とした。どの方位の外壁とも、ひさしの出が少ないことから、雨掛けはあると思われた。外壁

の仕上げは、仕上塗材吹付けであった。まず、試料採取箇所の汚れを取り除き、地面から高さ 1m の位置に、5cm 間隔で基盤目を描き、その 9 個の交点をせん孔箇所とした。

3.1.3 試料の採取

まず、せん孔箇所の写真撮影を行い、試料採取前の記録を行った。次に、せん孔箇所の仕上げ材を取り除くために、1mm 程度せん孔してから、せん孔箇所を清掃し、その下部に試料受けを取付けた。又、せん孔法では、試料が風で飛びやすいため、せん孔箇所を風防で覆った。第

1回目のせん孔として、直径 10mm の小径ドリルを用い、深さ 2cm までせん孔した。圧縮空気により、せん孔した穴に残った試料を試料受けにすべて排出して試料を採取し、密閉容器に保存した。次に、第 1 回目に採取した試料が混入しないように、せん孔した穴、壁面及び使用した器具すべてを清掃してから、再び深さ 2cm せん孔し、以上の操作を深さ 8cm まで繰り返し行った。なお、せん孔した穴については埋め戻し、表面仕上げをして、補修後の写真撮影を行った。

3.1.4 試料の分析

試料の分析は、2.3.3 及び 2.3.4 と同様に行った。なお、深さ 0~2, 2~4, 4~6 及び 6~8cm のせん孔によって採取した試料の分析結果を、それぞれ、せん孔深さ 1, 3, 5 及び 7cm における塩化物イオン量とした。又、塩化物イオン量はコンクリートの見掛けの絶乾比重を 2.2 として算出した。

3.2 調査結果

Fig. 10 には、せん孔法によって調査した鉄筋コンクリート造建物外壁の塩化物イオン量とせん孔深さの関係を示す。いずれの方位の壁においても、せん孔深さが深くなるのに伴って、塩化物イオン量は減少する傾向にある。又、建物外壁表面に近いほど、壁の方位による塩化物イオン量の差異が大きい。調査した建物の所在地

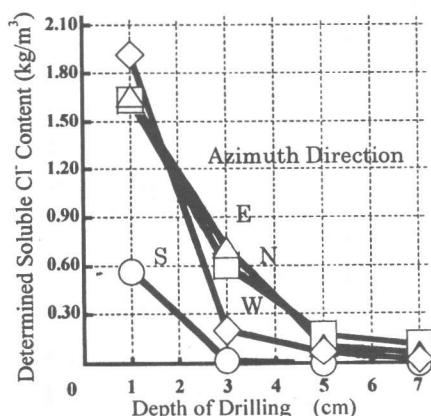


Fig. 10 Relation between Depth of Drilling and Determined Soluble Cl⁻ Content of Concrete Walls in Surveyed Reinforced Concrete Structures.

が内陸であるにもかかわらず、東、西及び北面の外壁表面から深さ 1cm における塩化物イオン量は、1.60~1.90kg/m³ に達する。この地域において、3 年間のモルタル暴露によって捕集した大気中の塩化物イオン量が約 0.75kg/m³ であった²⁾ことから推察すれば、調査した建物は竣工後 30 年経過しており、この地域の大気中の塩化物イオンがコンクリート中に蓄積したものと考えられる。

なお、本調査を通して、コア切取り法に比べて、せん孔法は簡易なコンクリート試料採取法であり、その作業時間も短いことが確認できた。

4. 結論

- 以上の試験結果を総括すれば、次の通りである。
- 1) 本研究で用いたような直径 10mm 程度の小径ドリルを用いる場合、せん孔法は、せん孔数及び深さにかかわらず、定量値のばらつきが小さい試料採取法であると言える。
 - 2) スランプ及び添加塩化物イオン量にかかわらず、せん孔法及びコア切取り法による試料採取のいずれも、定量結果にほとんど差異は認められない。従って、コンクリート中の塩化物イオン定量のための試料採取法として、せん孔法が適用できるものと推察される。
 - 3) せん孔式試料採取法によって、鉄筋コンクリート構造物中の塩化物イオン量の調査を行う手順を、Fig. 9 のように提案できる。

参考文献

- 1) 古賀文俊、後藤祐司、高橋幸三：コンクリート構造物の簡易な品質調査手法、セメント・コンクリート、No.459, May 1985, pp.28-29.
- 2) 佐藤 旬、鉄筋コンクリート構造物の耐久性と塩化物イオンの関連性、平成 5 年度日本大学修士学位論文、Feb. 1994, pp. 53-71.