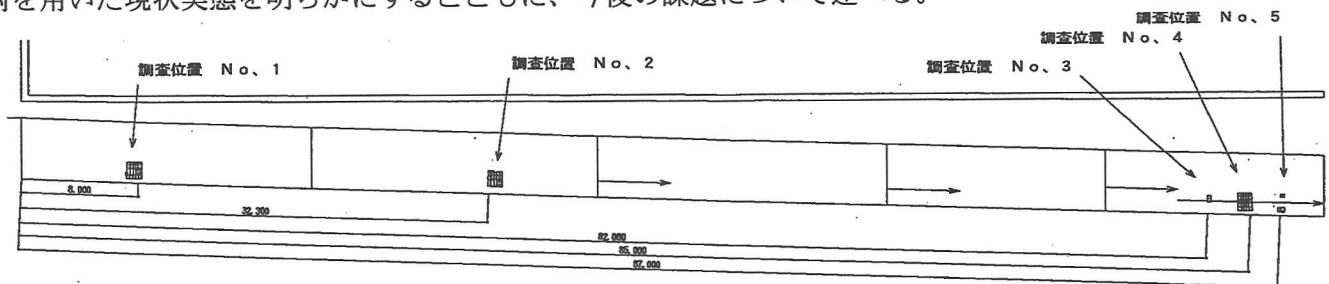


(12) 宅地RC擁壁老朽化耐震診断技術としての非破壊検査事例

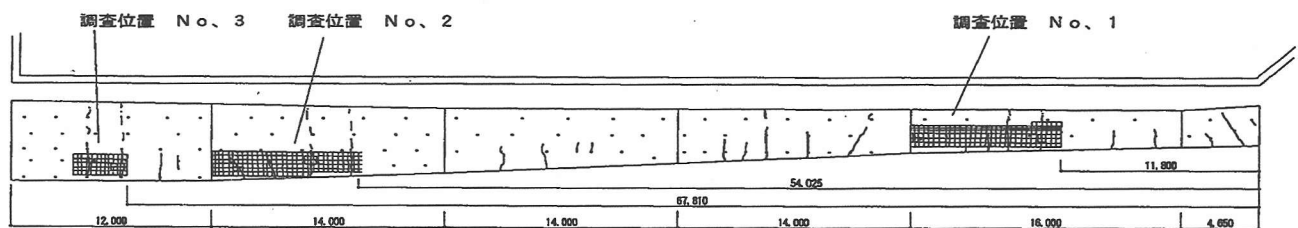
(株)千代田コンサルタント 正会員 橋本 隆雄
 職業能力開発総合大学校 橋本 光男
 (株)アミック 高鍋 雅則

1. はじめに

これまで練石積擁壁の診断技術については、ある程度明確になってきた。^{1)~4)}しかし、RC擁壁は、鉄筋の腐食状況やコンクリートのアルカリ骨材反応等による劣化状況を把握することが困難で、目視調査による的確な判断ができないのが現状である⁵⁾。そこで、本調査は、このような状況の中、最近のコンクリート構造物非破壊検査技術の適用による変状状況把握の可能性について、実際の宅地造成で築造された建設から20年経過したH地区と28年経過したY地区のRC宅地擁壁2箇所を対象に行った。この調査断面及び写真を図-1、写真-1に示す。現地調査は、①シュミットハンマーを用いたコンクリートの強度測定、②ソニックサーチャーを用いたひび割れ深さ測定、③RCレーダー及びフェロスキャンを用いた鉄筋調査、④鉄筋のはつり出し確認を行った。また、コア供試体を採取した室内試験は、①中性化深さ試験、②圧縮強度試験、③塩分含有量試験を行った。本論文では、これら非破壊検査技術を用いた宅地RC擁壁における老朽化耐震技術を用いた現状実態を明らかにするとともに、今後の課題について述べる。

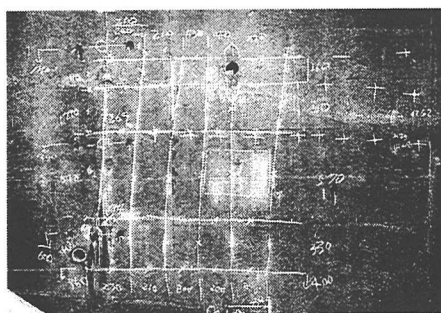


(a) Y地区正面図

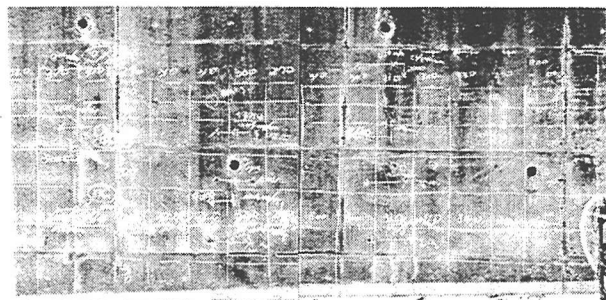


(a) Y地区正面図

図-1 現地調査位置



(a) Y地区



(b) H地区

写真-1 現地調査状況

キーワード：宅地擁壁、擁壁補強、点検、危険度判定、耐震調査

連絡先：〒114-0024 東京都北区西ヶ原3丁目57番5号 Tel：03-5974-5171 Fax：03-5974-5188

E-mail：t-hashimoto@chiyoda-ec.co.jp

2. RC擁壁の非破壊検査

2.1 コンクリートの強度測定

図-2は開発許可の際に用いられる宅地擁壁の標準断面図及び配筋図である。宅地擁壁のコンクリート強度試験調査は、コンクリート強度を測定した。コンクリートの強度測定機器は、シュミットハンマー（P社製）を用いた。測定方法は、反発度の測定を日本建築学会「コンクリート強度推定のための非破壊試験マニュアル」に従い、1個所当たり25点の打撃点における反発度を求め、その反発度の単純平均値（R'）から±20%を超える反発度は捨て、さらに追加して反発度を求めた。25点の反発度が平均値の±20%以内に収まるよう打撃し、その有効平均打撃値（R₀）から（1）式によりコンクリートの強度を推定した。

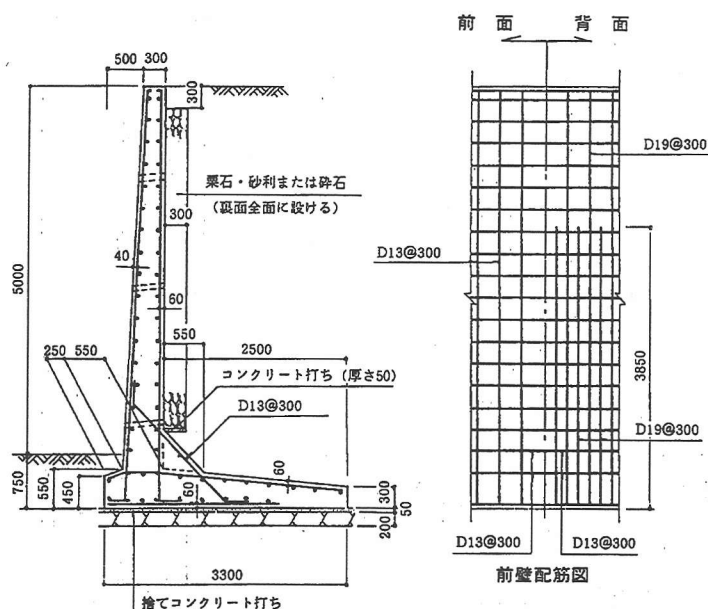


図-2 L型鉄筋コンクリート擁壁標準断面図

$$F(s) = \alpha \times \{ 7.3 \times (R_0 + \Delta R_1 + \Delta R_2) + 100 \} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \dots (1)$$

ここで、F(s)：反発度法による強度推定値

ΔR_1 ：打撃方向補正值（反発度は直線補完）

ΔR_2 ：表面粗さ等による補正係数

また、（2）に示す日本材料学会に提案されている計算式でも強度を求めた。

$$F(s) = \alpha \times \{ 1.3 \times (R_0 + \Delta R_1 + \Delta R_2) - 184 \} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \dots (2)$$

ここで、 α ：材令補正值

コア供試体とシュミットハンマーによる圧縮強度の比較換算式を（3）に示す。

$$F(s) = 1.1749 \times (R_0 + \Delta R_1 + \Delta R_2) - 18.458 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \dots (3)$$

シュミットハンマーを用いたコンクリートの強度測定結果は、表-1～3及び図-3に示すようにY地区では日本材料学会式を用いると設計基準強度F(s) = 21.0 N/mm²を下回ることが明らかとなった。そこでシュミットハンマーの値の妥当性を明確にするためにコア採取による強度試験を行った。

表-1 コンクリート強度 (N/mm²) の推定式の比較

	日本建築学会式	日本材料学会式	コア供試体換算式
Y地区	216～218	179～193	270～275
H地区	245～261	219～247	318～361

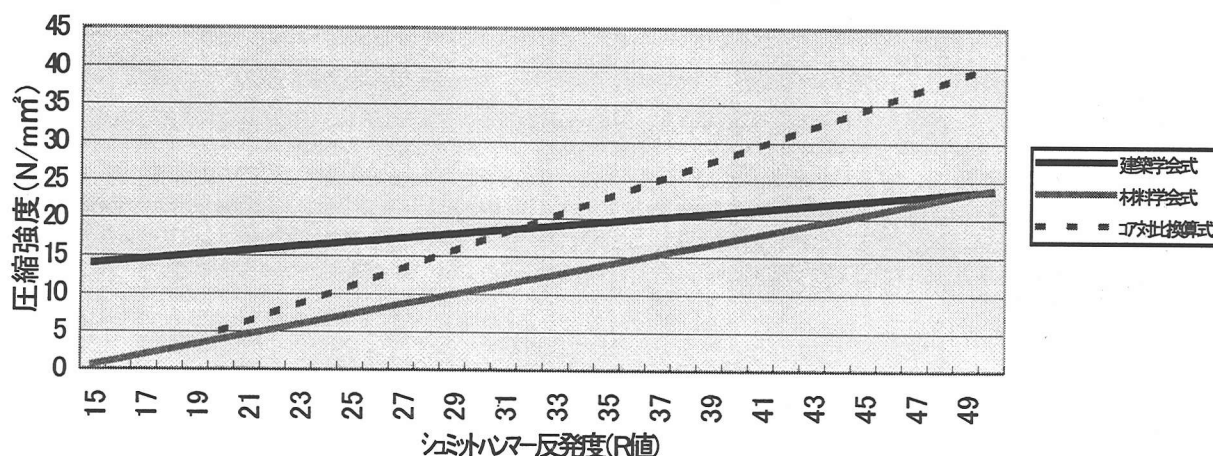


図-3 コンクリート強度曲線の比較

表-2 シュミットハンマーにおけるコンクリート推定強度 (Y地区、No.1~3)

番号	推定部位	反発度					平均			有効	補正值			推定強度					
							反発度				反発度	方向	表面	材令(日)	日本建築学会式		日本材料学会式		JIS供試体換算式
							(R')	R*1.2	R*0.8	(R0)					(ΔR1)	(ΔR2)	(α)	(N/mm ²)	(kgf/cm ²)
1	壁 1	46 42 37 36 46	38.3	46.0	30.7	38.3	横	無し	10220	21.2	216.4	17.5	179.1	26.5	270.7				
		46 41 36 35 36																	
		38 38 36 37 37																	
		33 36 38 42 30																	
		40 43 37 36 36																	
2	壁 2	42 37 40 38 38	40.2	48.3	32.2	40.2	横	無し	10220	22.0	224.4	18.9	193.3	28.8	293.7				
		36 39 48 42 36																	
		40 43 40 38 38																	
		40 45 40 36 39																	
		46 43 41 43 38																	
3	壁 3	40 34 34 37 38	38.7	46.5	31.0	38.7	横	無し	10220	21.4	218.1	17.8	182.0	27.0	275.5				
		40 36 42 37 38																	
		41 41 37 42 36																	
		36 39 42 36 36																	
		36 44 47 43 36																	

表-3 シュミットハンマーにおけるコンクリート推定強度 (H地区、No.1)

番号	推定部位	反発度					平均			有効	補正值			推定強度					
							反発度				反発度	方向	表面	材令(日)	日本建築学会式		日本材料学会式		JIS供試体換算式
							(R')	R*1.2	R*0.8	(R0)					(ΔR1)	(ΔR2)	(α)	(N/mm ²)	(kgf/cm ²)
1	壁 1	45 44 43 40 42	44.0	52.8	35.2	44.0	横	無し	7300	24.7	252.5	22.8	232.5	33.2	338.3				
		40 47 38 48 47																	
		48 45 44 46 41																	
		45 45 45 42 38																	
		48 49 49 38 42																	
	壁 2	44 48 49 43 43	45.4	54.4	36.3	45.4	横	無し	7300	25.4	258.7	23.9	243.4	34.8	355.0				
		48 47 46 42 48																	
		46 45 44 45 47																	
		45 43 48 44 41																	
		47 43 48 42 48																	
	壁 3	44 46 44 44 45	43.5	52.2	34.8	43.5	横	無し	7300	24.5	250.4	22.4	228.7	32.6	332.5				
		45 44 48 48 44																	
		37 45 38 38 39																	
		46 36 46 38 46																	
		46 40 45 48 47																	
	壁 4	47 47 44 43 46	45.9	55.1	36.7	45.9	横	無し	7300	25.6	261.1	24.3	247.8	35.5	361.8				
		49 43 51 42 42																	
		47 48 48 51 47																	
		42 50 46 50 48																	
		46 44 42 45 40																	

2.2 ひび割れ深さの測定

ひび割れ深さの測定は、ソニックサーチャャー (S社製) を用いた。ひび割れ深さの測定方法は、図-4に示すようにTcTo法を採用し、その計算式を(4)式に示す。

$$d = a\sqrt{(Tc/To)^2 - 1} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、d：ひび割れ深さ

Tc：健全部・超音波センサ間隔300mmのときの超音波伝播時間

To：ひび割れ・超音波センサ間隔300mmのときの超音波伝播時間

ただし、鉄筋等の超音波伝達する場合は貫通と判断するひび割れもある。

ひび割れ深さ測定結果、測定位置の全箇所

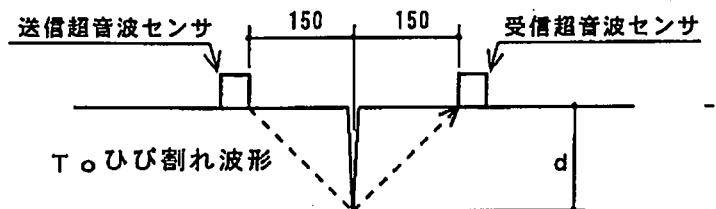


図-4 ソニックサーチャャャーを用いたひび割れ深さの測定

鉄筋かぶり深さ以上の深さに達するひび割れを確認できたことからひび割れ周辺の鉄筋は、腐食環境に有ると考えられる。

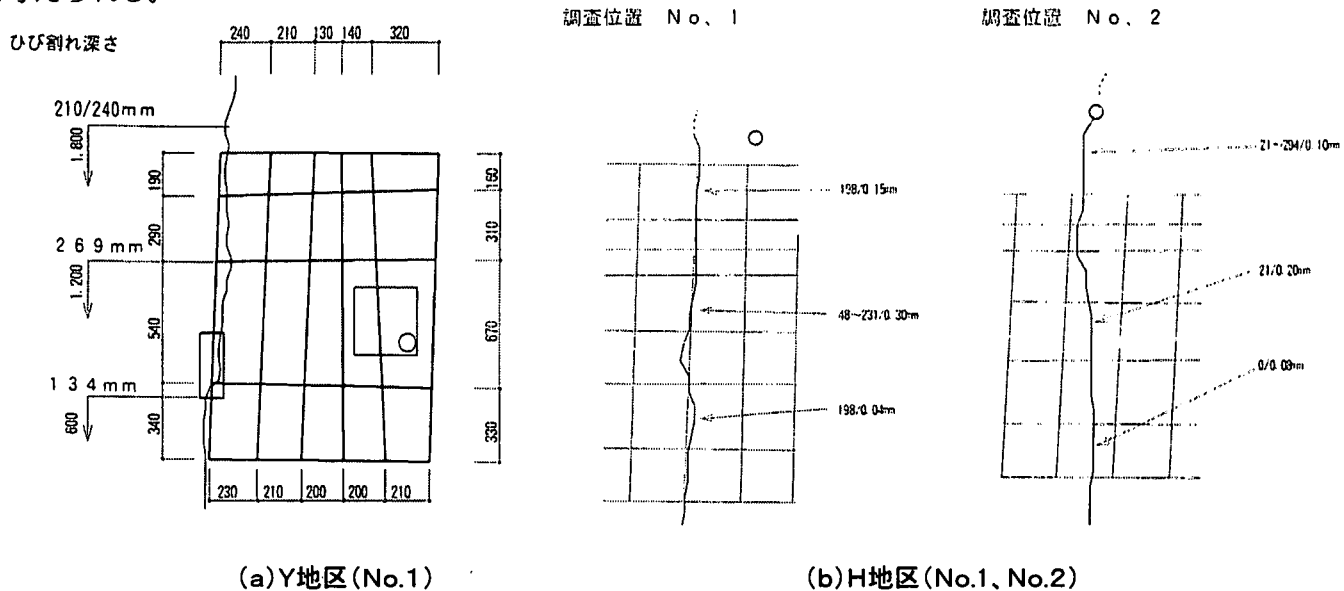


図-5 TcTo法によるひび割れ深さ測定方法

2.3 鉄筋調査

鉄筋調査はレーダー法としてRCレーダ- (N社製)、電磁誘導法としてフェロスキャン (H社製)、をもちいて調査を行った。レーダー法(RCレーダ-)は図-6のようにマイクロ波をコンクリート躯体中に入射させ、鉄筋及び電線管から反射されたマイクロ波を受信する方法である。電磁誘導法(フェロスキャン)は図-7、図-8のようにプローブのコイルに高周波電流を流し、鉄筋による電磁誘導を利用した鉄筋調査法で、鉄筋の配置の計測が可能である。ただし、多層の配筋の場合にはコイルを接触させる面の近くの鉄筋のみが検出できる。鉄筋調査を各部位で実施した。最小かぶり厚さ(コンクリート表面から鉄筋までの深さ)は、Y地区で30~40mmで部分的に露出が見られ、H地区では、15~40mmであり、Y地区及びH地区の最小かぶり厚さにばらつきが見られた。一方、鉄筋間隔はY地区で不良(不等ピッチ)箇所があったが、H地区ではほぼ均等に施工されていた。

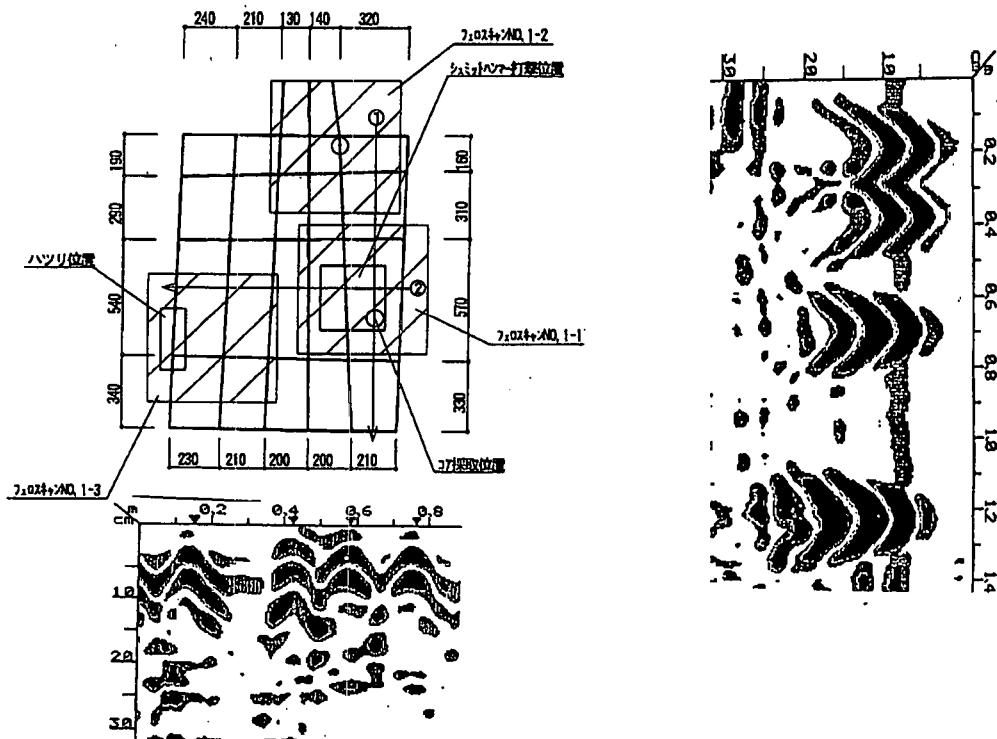


図-6 RCレーダーを用いた鉄筋調査 (Y地区No. 1)

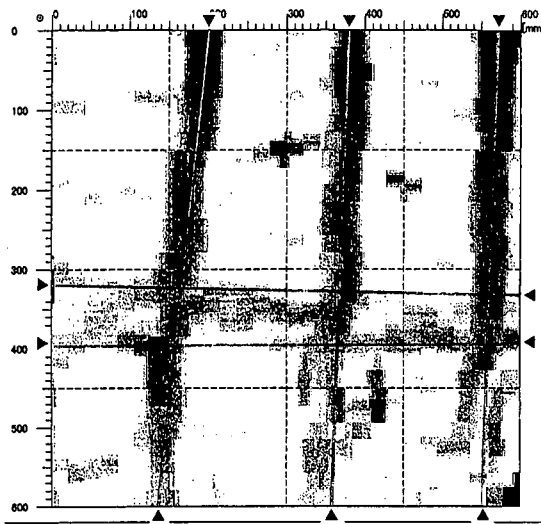


図-7 電磁誘導法による平面鉄筋調査
(Y地区、No.1)

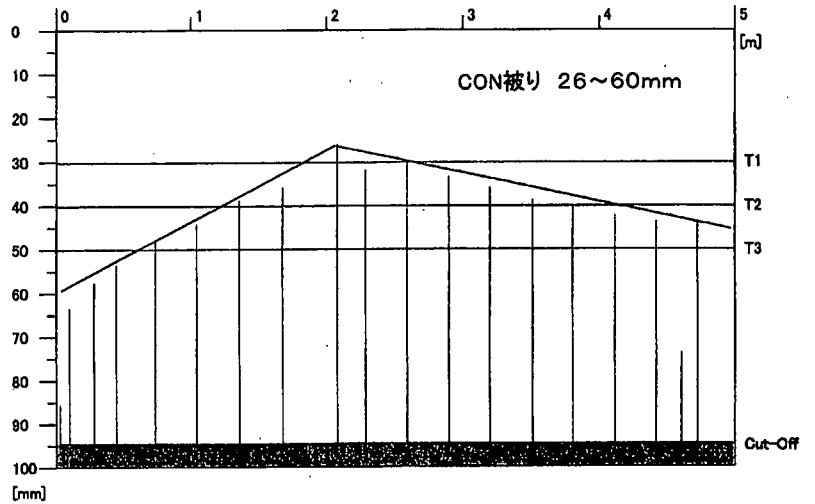


図-8 電磁誘導法による連続鉄筋調査
(H地区、No.2)

2. 4 鉄筋のはつり出し確認

鉄筋のはつり出し確認は、コンクリートカッター、ピックハンマ、1%フェノールフタレインアルコール溶液、ノギスを用いてコンクリートをはつり、コンクリート及びその内部の鉄筋調査を実施した。調査方法は、はつり調査の周囲をコンクリートカッターで切り込みを入れた後、ピックハンマでかぶりコンクリートを鉄筋が露出するまではつり取り、以下の調査を行った。

- ①鉄筋の腐食状況確認。(表-4参照)
- ②鉄筋の直径を実測。(ノギスで計測)
- ③鉄筋の間隔(ピッチ)を実測。(コンベックスで計測)
- ④コンクリート表面からの鉄筋かぶり厚さの測定(ノギスで計測)
- ⑤現地はつり出し部のコンクリートのはつり取った露出面に対してフェノールフタレイン1%アルコール溶液を噴霧し、非着色部厚みを中性化深さとしてノギスで計測。

Y地区の場合は、フェロスキャンによる平面調査の結果、横鉄筋が300mm間隔に入っているところが写真-2に示すように施工上の結束が悪いため、一段落ちた600mm下に2本重なって入っている施工不良が発生していることが明らかとなった。また、施工後水抜き穴を掘削するために縦鉄筋部を切断している箇所も見られた。この鉄筋のはつり出しの結果、一部分鉄筋の状態が分類Ⅲに相当する部分では、中性化が30mmを示していた。その他の部分は、分類Ⅱ~Ⅲ程度であり中性化深さも22mm以下であった。

表-4 鉄筋腐食の分類

分類	鉄筋の状態
I	黒皮の状態、または錆は生じているが全体的に薄い緻密な錆であり、コンクリート面に錆が付着していることはない。
II	部分的に浮き錆があるが、小面積の斑点状である。
III	断面欠損は目視観察では認められないが、鉄筋の全周または全長にわたって浮き錆が生じている。
IV	断面欠損を生じている

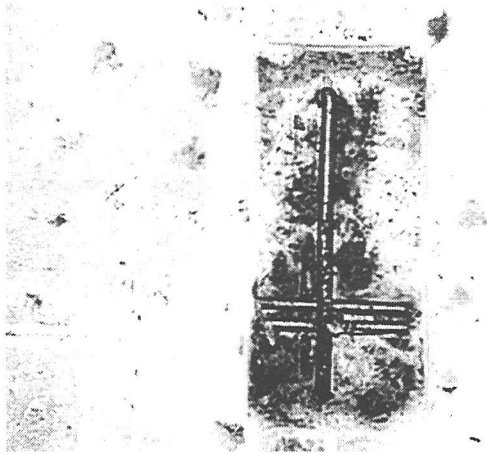


写真-2 (Y地区、No.1)

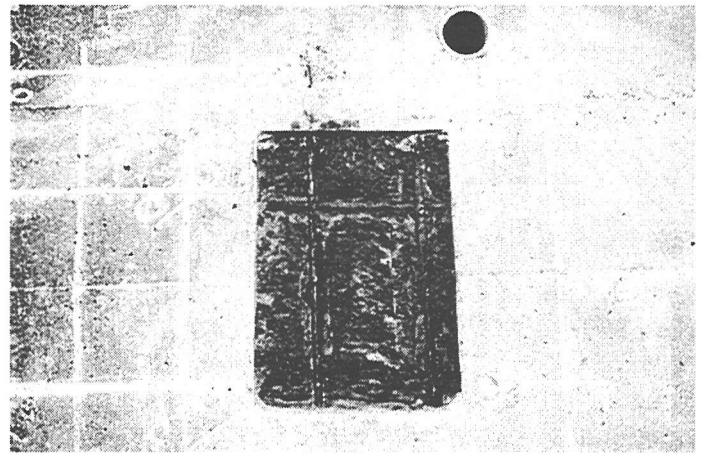


写真-3 (H地区、No.2)

3. コア供試体採取及び室内試験

コア供試体採取方法は、室内試験の供試体を作成することを目的としてコアボーリング機及びコンクリートドリルを用いて、鉄筋調査した結果を参考に鉄筋の無い部分から公称直径80mmのコアを採取した。コア採取にあたり、壁を貫通させないようにボーリング深さは約200mmまでボーリングを行い、ボーリングが終了後ゆっくりとコアドリルを引き抜き、切削溝にマイナスドライバを差し込み切断させた。採取したコアはラップし、試験所への輸送中に破損しないように緩衝材で供試体を保護した。

3. 1 コア供試体側面の目視観察結果

コア供試体側面の目視観察結果、以下のものであった。

- ①ひび割れ位置のコア供試体目視について・・・・・・深さ方向250mm以上のひび割れ有り。
- ②コールドジョイント部コア供試体について・・・・・・深さ方向250mm以上のひび割れ有り。
- ③豆板部の供試体については・・・・・・50mm程度のジャンカ有り。
- ④その他、Y地区、H地区の健全部コア供試体については特に異常なし。

3. 2 コア供試体による中性化深さ試験

コア供試体の円筒面に対して1%フェノールフタレインアルコール溶液により中性化深さ試験を行った。その結果を表-5及び写真-4に示す。供試体中性化深さは、健全部で15mm程度コールドジョイント部及びひび割れ周辺で50~100mm程度、豆板部で70mm程度であった。

3. 3 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、日本工業規格 JIS A 1108「コンクリート強度試験方法」に従って行った。圧縮強度について正確な設計基準強度は不明であるが、昭和48年建設されたY地区の当時の設計基準強度は210kgf/cm²程度であるが、現在の圧縮強度の結果は、むしろそれよりも高い26.4~28.0N/mm²の値を示した。

表-5 室内圧縮強度試験結果

試験体名	No	高さ(mm)			直径(mm)			断面積 (mm ²)	h/d	質量 (kg)	体積 (L)	最大荷重 P(KN)	補正係数	圧縮強度		中性化 (mm)
		h ₁	h ₂	平均	d ₁	d ₂	平均							(N/mm ²)	(kgf/cm ²)	
Y地区	1	147	147	147	73.5	73.5	73.5	4243	1.995	147.3	0.622	110	1.000	25.9	264.5	-
	2	147	147	147	73.5	73.5	73.5	4243	1.996	1446.0	0.622	118	1.000	27.8	283.8	-
H地区	1	147	147	147	73.5	73.5	73.5	4241	1.997	1429.4	0.623	155	1.000	36.5	373	12
	2	147	147	147	73.5	73.5	73.5	4243	1.998	1431.0	0.623	140	1.000	33.0	336.7	6

3. 4 塩分含有量試験

塩分含有量試験は、日本コンクリート工学協会規格 JCI-SC4「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」に従い、鉄筋付近の塩分含有量を調べる目的で、コア供試体の塩分を、鉄筋かぶり深さ相当の付近から試料を採取して行った。室内試験では、圧縮強度及び中性化深さ測定、塩分含有量試験を実施したが特に問題となる試験結果は無いが微量の数値としてH地区よりもY地区の方が塩分含有量多かった。塩分含有量が高いほど鉄筋が腐食されやすく、鉄筋のかぶり厚さに相当する深さの塩分含有量は、Y地区で0.018%、H地区で0.009%、一般に塩分により鉄筋が腐食する濃度はおよそ0.05%であるといわれ、調査時点では鉄筋は腐食環境でないことが明らかとなった。また、塩分総量規制値は0.30kg/m³と定められており、コンクリート重量換算すると約0.013%である。

4. ひび割れ補修について

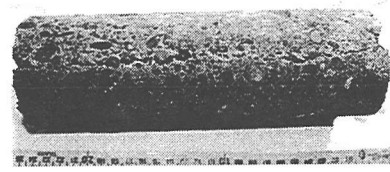
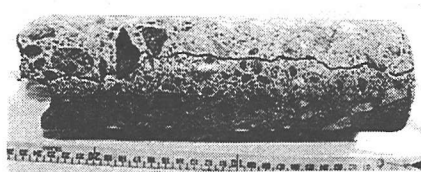
ひび割れの補修要否に関するひび割れ幅の程度について、(社)日本コンクリート工学協会「コンクリートのひび割れ調査、補修、補強指針」では表のように規定している。

補修方法は、ひび割れに低粘性のエポキシ樹脂又はセメント系注入材による注入補修を行う事が望ましい。ひび割れの発生原因は、その発生パターンから、打設直後の振動及び養生時の熱、コンクリート硬化時の乾燥収縮、経年劣化、外力(土圧)等により発生したひび割れと考えられる。

コア採取位置 No. 2

コア採取位置 No. 3

コア採取位置 No. 4

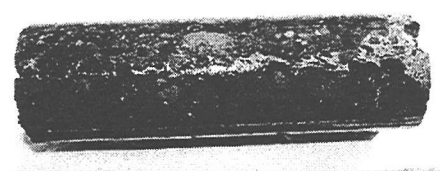
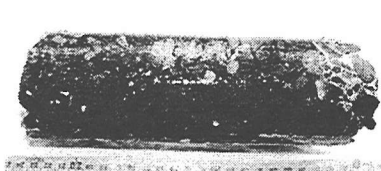
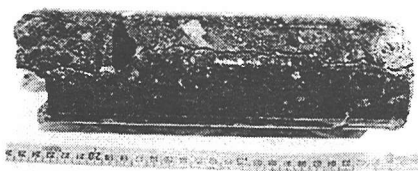


(a) コア供試体側面の目視観察結果

コア採取位置 No. 2

コア採取位置 No. 3

コア採取位置 No. 4



(b) 中性化深さ試験(1%フェノールフタレインアルコール溶液)

写真-4 コア供試体採取及び室内試験

表-6 補修要否に関するひび割れ幅の限度(日本コンクリート工学協会)

要因	環境	耐久性からみた場合			防水性からみた場合
		きびしい	中間	ゆるやか	
(A) 補修を必要とする ひび割れ幅(mm)	大	0.4以上	0.4以上	0.6以上	0.2以上
	中	0.4以上	0.6以上	0.8以上	0.2以上
	小	0.6以上	0.8以上	1.0以上	0.2以上
(B) 補修を必要としない ひび割れ幅(mm)	大	0.1以下	0.2以下	0.2以下	0.05以下
	中	0.1以下	0.2以下	0.3以下	0.05以下
	小	0.2以下	0.3以下	0.3以下	0.05以下

注1) その他の要因(大、中、小)とは、コンクリート構造物の耐久性及び防水性に及ぼす有害性の程度を示し、下記の要因の影響を総合して定める。ひび割れの深さ・パターン、かぶり厚さ、コンクリート表面被覆の有無、材料・配(調)合、打継ぎなど。

注2) 主として鉄筋錆の発生条件の観点からみた環境条件。

5. まとめ

今回の調査で、Y地区及びH地区のひび割れはそれぞれ鉄筋位置まで到達しており、ひび割れに固着しているエフロレッセンス(白色化)は部分的に茶色である。また、鉄筋かぶりの浅い所は部分的に腐食していて、中性化(健全部)でも最大30mmで有り、維持管理(耐久性向上及び美観保持)のための補修を行うことが望ましい。宅地擁壁は、道路擁壁に対し上部の建物を支える重要な構造物である。近年、宅地擁壁の補修・補強の依頼が急増しており、その背景には、全国にある宅地擁壁の老朽化したものが経年変化により変状を来たしてきているためである。地震後の変状は、明確であるが老朽化による変状は非常にわかりづらい。このためには、被災宅地危険度判定士と同様に、地震発生前に全国にある危険な宅地擁壁の補修・補強のための改善勧告を行うために宅地擁壁老朽化判定士制度を早急に確立していく必要がある。

鉄筋コンクリート構造物では、コンクリートの中性化及びひび割れから雨水の浸入などにより鉄筋の劣化が進行し、鉄筋とコンクリートの付着力が低下していることが明らかとなった。今回行った調査では、コンクリート強度は、シュミットハンマーとコア供試体を用いた圧縮試験ではかなり異なり、実際の値の方がかなり強度的に強いことが明らかとなった。鉄筋コンクリート構造物は、他の石積擁壁に対し安全側であり、施工年も新しいためこれまで顕著な変状が見られず具体的な補修・補強を行われていない場合が多い。しかし、実態としては、コンクリートの劣化や鉄筋の腐食等がかなり進行していることがわかった。現在の調査方法は、各種手法を用いることで推測することは可能であるが、鉄筋の腐食やコンクリートの中性化状況を定量化できないためはつり出し確認やコア供試体採取による室内試験に頼らざるを得ない状況にある。今後、鉄筋とコンクリートの剥離状況及び鉄筋の位置推定ができる非破壊検査手法⁶⁾の早急な開発が必要である。

謝辞

本論文内容は、国土交通省総合政策局民間宅地指導室の委員会で宅地擁壁の老朽化及び危険度に関する調査を行ったY地区の現場に新たにH地区の調査を追加して再検討したものである。国土交通省、宅地擁壁技術協会の添田専務、並びに関係機関に大変お世話になりました。これらの方々に感謝する次第です。

参考文献

- 1) 橋本 隆雄：被災擁壁危険度判定に基づく宅地擁壁の補修・補強システムの構築、第10回日本地震工学シンポジウム k-5、1998.11、pp.3245~3250
- 2) 宅地擁壁の耐震補強・診断技術と適用事例、土木学会、第3回耐震補強・補修技術、耐震診断に関するシンポジウム論文集、1999.7、pp.103~110
- 3) 橋本 隆雄：宅地擁壁の耐震補強・診断技術と適用事例、土木学会、第3回耐震補強・補修技術、耐震診断に関するシンポジウム論文集、1999.7、pp.103~110
- 4) 橋本 隆雄：宅地擁壁の補強・診断対策に関する研究、土木学会、第4回耐震補強・補修技術、耐震診断に関するシンポジウム論文集、2000.7、pp.101~108
- 5) 橋本 隆雄：宅地擁壁老朽化変状等の耐震診断技術に関する研究、土木学会、第5回耐震補強・補修技術、耐震診断に関するシンポジウム論文集、2001.7、pp.125~132
- 6) 高鍋 雅則、橋本 光男：パルス電磁力を用いた鉄筋コンクリート診断、社団法人 日本非破壊検査協会、表面探傷・サーモグラフィ合同シンポジウム講演論文集