

河川堤体内の空洞化点検技術への取り組み

細野貴司¹・国京正隆²・安本悠人³

^{1,2,3}静岡河川事務所 調査課（〒420-0068 静岡市葵区田町3-108）

安倍川河口部の堤防堤体内には、過去に植栽した松の根株が存在する。この松の根の腐朽が原因と考えられる空洞により、過去に堤防天端の陥没が発見された。このように安倍川河口部の堤体内には、他の箇所にも同様の松の根株が存在すると考えられる。よって今回、堤体内の根株、空洞の詳細な位置及び危険度を把握するため、最新の技術による堤防地中探査の実施、その結果による健全度評価及び今後の対策について報告するものである。

キーワード：安倍川, 短チャープ式地中レーダ探査, 埋没根株, 健全度評価

1. はじめに

安倍川は、静岡県の中央部を南北に流れる日本屈指の急流河川である。河口域の堤防上には、過去に植栽した松が現在も存在する。この松は、防風林として江戸時代から改修の際に植えられたものと考えられる。この松の内、何本かは、過去の築堤等の工事に合わせて伐採されたが、根株を残した上で築堤しているため堤防の中には、これら埋没した松の根株が残置されている。過去にはこの埋没した松の根株の腐朽が原因と考えられる堤防天端の陥没が発生しており、今後も同様な事象が発生することが推察され、河川利用者への安全及び堤体の安定性が確保できない恐れがある。また、この埋没している松の根株の正確な位置及び状態は、分かっていない。

よって、今回、新たな調査手法により、安倍川堤防の地中探査を実施し、埋没した根株の位置及び空洞の状態を特定するとともに堤防の健全度を評価した。

本論文はこれらの、背景、調査手法、調査結果、評価について報告するものである。

2. 背景

埋没した松の根株がある原因は、図-1のとおり、古くは江戸時代に植えられた松の木が昭和10年代以降の堤防の築堤等の工事時に伐採されたが、根株まで完全撤去せず存置したままで、築堤したためと推察される。当時は、このような方法で、築堤が行われてきたため、堤防堤内の各所で埋没した松の根株が存在すると考えられる。

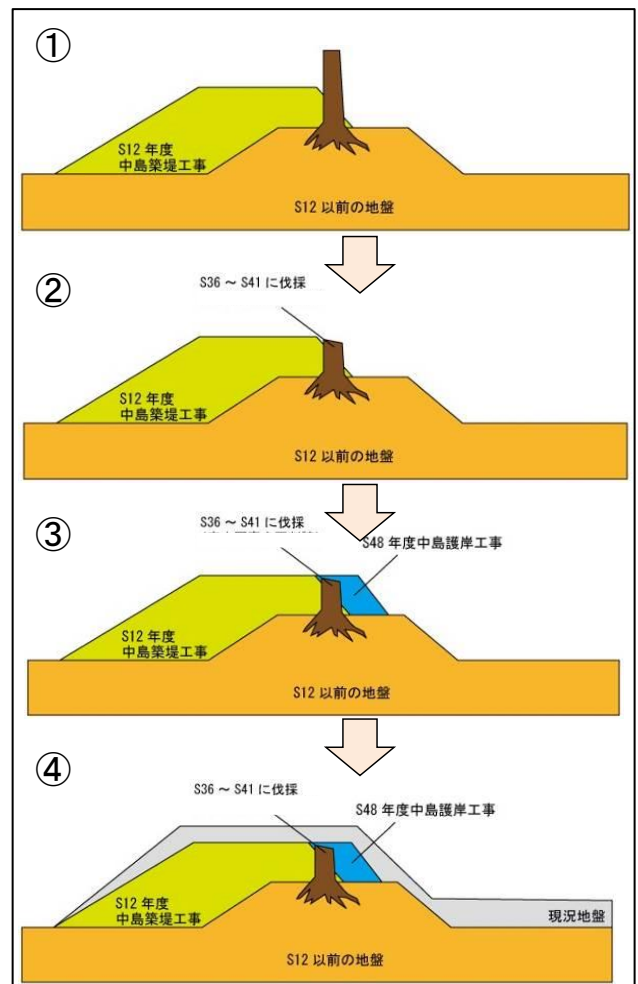


図-1

この堤体内に埋没した松の根株の腐朽等が原因と考えられる堤防天端の陥没が発生した。(H25年度等)これは、堤体内の根株が長い年月の中で、腐朽し組織そのものが

分解されたことや松の根株周辺に発生した水道によって土壌の細粒分が流出したことによって、根株部分や周辺域が空洞化し、堤防天端が陥没したと考えられる。(図-2) (図-3)



図-2



図-3

この埋没根株が存在すると考えられる範囲は、過去の空中写真と現在の空中写真を比較した結果、過去には、河口から左右岸とも4.00キロポストまで松が繁茂していた状況が確認できる。よって、この範囲の堤体内に松の根株が埋没している可能性がある。しかし、詳細な位置は分かっていない。(図-4)

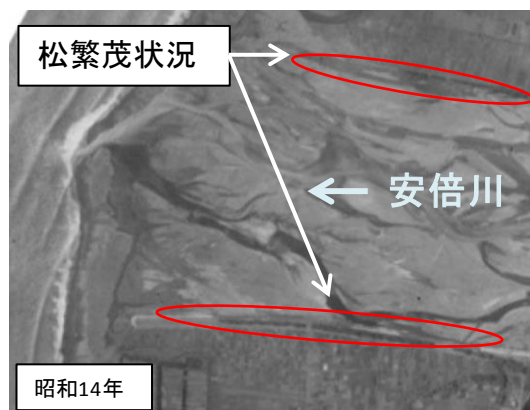


図-4

このように、詳細な位置は分かっていないが、堤体内に松の埋没根株が存在すること、この埋没根株の腐朽が原因と考えられる堤防天端の陥没が発生していることか

ら、今後、堤防利用者の安全性、堤体の安定性が確保出来ない可能性がある。よって今回、新たな調査手法により、安倍川堤防の地中探查を実施し、埋没した根株の位置及び空洞の状態を特定するとともに堤防の健全性を評価した。

3. 調査手法

(1) 探查方法の選定

安倍川堤防の地中探查にあたり、次の事項について留意した。埋没根株及び空洞が地表から探知できる探查手法であること。松の根株の平面範囲として直径0.5～1.0m、埋没深さ範囲は表層から3m程度(工事履歴より推定)、材質は生木(湿潤)状態と腐朽(乾燥)状態の両者、及び空洞も想定する必要がある。

調査地点は、堤防の天端や法面上であり、平地・斜面の両方で探查でき、無騒音で作業性が良く、安価で長距離(左右岸で8.0km程度想定)を調査できること。

この留意点を満足し、なおかつ分解能力(地中の細かい物体を探知できる能力)が高い最新式の短チャープ式地中レーダ装置を採用することにした。

この短チャープ式地中レーダ探查(図-5)は、電磁波を地中に送信し、地中の各種境界面で反射する反射波を計測する装置である。一般的な地中レーダ探查より、表-1のとおり、電磁波の周波数が高く分解能力が高くなり、精度の高い調査が可能となる。これは、図-6のとおり、一般的な地中探查より空洞及び埋没根株の反応が顕著に表示されるため、検出能力が向上する。



図-5

表-1

手法	一般的な地中レーダ探查	短チャープ式地中レーダ探查
送信周波数	50～300MHz	50～800MHz
分解能力	25cm程度	10cm程度
探查可能深度	3m程度	3～4m程度
空洞	敏感に反応	敏感に反応
生木	空洞や腐食木に劣るが反応する	空洞や腐食木に劣るが反応する
腐食木	敏感に反応	敏感に反応
総合評価	○	◎

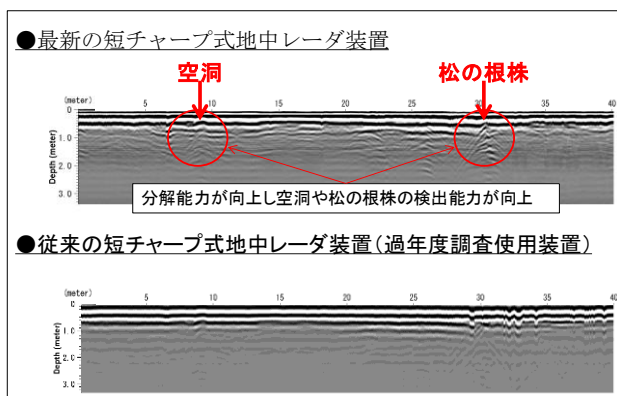


図-6

この短チャープ式地中レーダ探査を含む地中レーダ探査は、他分野（道路下、河川堤防及び河川構造物周辺域の空洞調査、地下埋設物調査）でも使われ十分な実績がある。また今回使用した短チャープ式地中レーダ探査は、国の助成研究であるSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）においても最新空洞点検技術として実証されている。

(2) 試験探査

本格的な地中探査を実施するにあたり、3箇所程度試験的に調査（堤防に対して縦断方向のみ）を実施し、異常反応があった箇所について、電動ドリル削孔、簡易貫入試験を実施して探査結果の妥当性及び本格調査に向けての課題等を確認した。

試験探査は、図-7のと通りの3箇所で行った。この結果、16箇所において、松の根株か空洞と考えられる異常反応を検出した。これは、図-8のとおり、探査装置が空洞や根株等の直上に達する以前から反応し、結果に反映される。



図-7

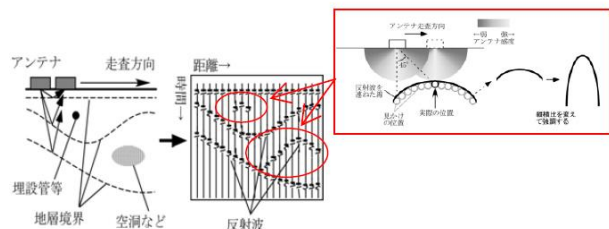


図-8

異常反応を示した16箇所について、電動ドリル削孔、簡易貫入試験を実施し、空洞及び埋没根株が実際に存在するか確認した。電動ドリル削孔は、空洞あるいは埋没根株の有無を確認するために行い（図-9）（図-10）、

簡易貫入試験は、空洞が確認された場合にその空洞下部の地盤の状況を確認するために行う。（図-11）結果、13箇所において空洞及び埋没根株が確認された。なお電動ドリル削孔後は、必ず砂充填及び無収縮モルタルにて、復旧を実施している。



図-9



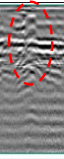
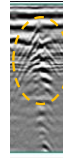
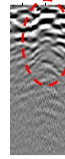
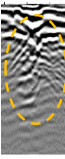
図-10



図-11

試験探査で確認された異常反応を整理し、空洞反応と根株反応のパターンを表-2のとおり整理した。反応の違いは認められるが、その違いは顕著なものではないため、縦断探査での異常反応探知後に横断探査を実施して異常反応の精度を高めると共に、電動ドリル削孔や簡易貫入試験は、引き続き本調査でも実施する必要があると判断した。

表-2

縦断探査		横断探査 (※精度向上のため実施)	
異常反応パターン1 (空洞反応)	異常反応パターン2 (根株反応)	異常反応パターン1 (空洞反応)	異常反応パターン2 (根株反応)
			
<反応の特徴> ・独立した強反応 ・双曲線(円弧状)反応 ・反応頂部が正極性(白色)	<反応の特徴> ・独立した強反応 ・双曲線(円弧状)反応 ・反応頂部は乱れている ・深度方向に多重反射反応	<反応の特徴> ・独立した強反応 ・双曲線(円弧状)反応 ・反応頂部が正極性(白色)	<反応の特徴> ・独立した強反応 ・双曲線(円弧状)反応 ・反応頂部は乱れている ・深度方向に多重反射反応
<コメント> 両反応とも独立した強反応で双曲線(円弧状)の反応を呈するため、顕著な反応の違いが認められない。 →横断探査による精度向上の必要あり		<コメント> 縦断探査と同様に、両反応とも独立した強反応で双曲線(円弧状)の反応を呈する。顕著な反応の違いが認められないが、縦断および横断探査で反応がある。 →確認調査を実施する必要あり	

(3) 本格探査

本格探査の範囲は、図-12のとおり過去の航空写真から堤防上に松が繁茂していた範囲とした。また堤防天端だけでなく、法面も探査できるよう法肩から下方向に1mまで行うとともに、アスファルト舗装のない小段においても探査を実施することとした。(図-13)

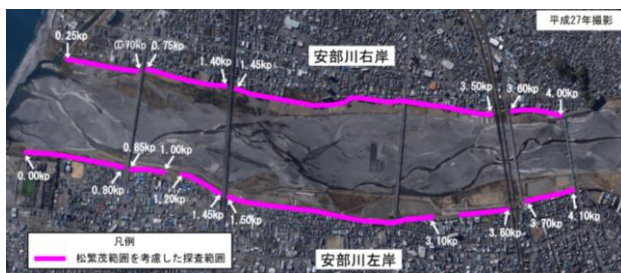


図-12

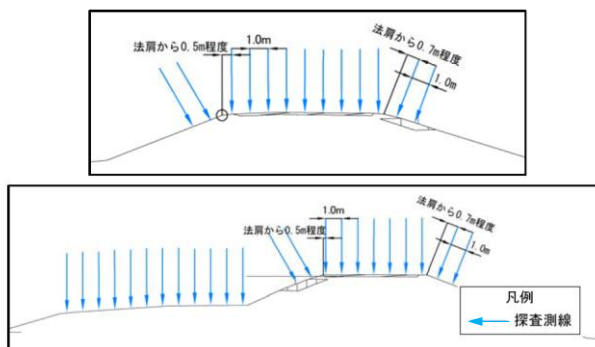


図-13

本格探査の手順は、試験探査の結果も踏まえ図-14のとおりとした。

なお、結果に基づく陥没危険度の評価については、「空洞判定実施方針(案)」H22.3〔国土交通省北陸技術事務所〕と空洞直下の地盤の緩み具合、空洞が無いが根株が存在する箇所について評価した。

空洞については、「空洞判定実施方針(案)」で、空洞の深さ位置、空洞の大きさで3段階評価(A、B、C)するもので、A評価については、早期陥没が危惧されるため、早期対策箇所(Ⅳ)と位置付けた。B、C評価については、空洞下部の地盤の緩み具合により評価し、ゆるみがある場合は、短期にA評価へ発展する可能性が高いため、巡視重点箇所(Ⅲ)と位置付けた。C評価については、空洞下部の地盤にゆるみが無い箇所、空洞が早期に拡大する可能性は少ない箇所のため、経過観察箇所(Ⅱ)と位置付けた。

空洞が伴わない埋没根株については、長期に渡って地中に根株が埋没していた状態でも腐朽が確認できなかったため、今後もしばらくはこの状態が保たれると判断し、注意箇所(Ⅰ)と位置付けた。このようにして、陥没危険度評価を実施した。(図-15)(図-16)

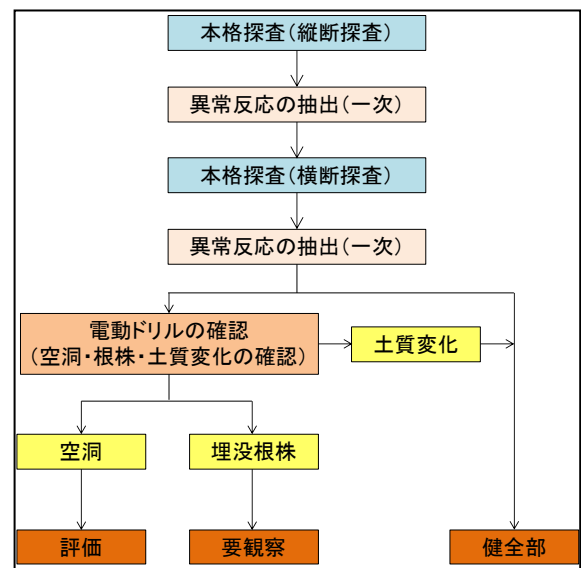


図-14

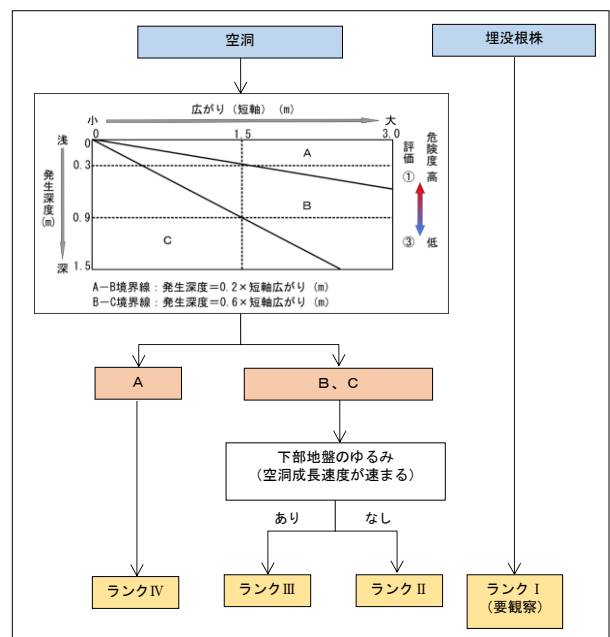


図-15

対策優先順位	対策方針
Ⅳ	早期対策箇所。陥没する危険度が高いため、早期に開削及び転圧、埋戻しを行うべき箇所。現状として路面に小穴が生じている箇所も含む。
Ⅲ	巡視重点箇所。短期でランクⅣへ発展する可能性が高いため、巡視の重点箇所とすること。現状として亀甲状の路面クラック、小穴あるいは沈下が生じている箇所も含む。変状の進行が確認された場合は直ちに開削及び転圧、埋戻しを行う等の対応を行うこと。
Ⅱ	経過観察箇所。空洞下部に緩み領域は無いため、空洞が早期に拡大する可能性は少ない箇所。現状として路面のクラックが生じている箇所も含む。このため、1年毎等の定期的な経過観察箇所として亀裂や沈下等の路面変化を観察すること。路面沈下や亀甲状クラック等変状が進行した場合は巡視重点箇所とすること。
Ⅰ	注意箇所。長年に渡って地中に根株が埋没した状態で腐朽や空洞は発生しなかった箇所。このため、早期に空洞が発生する可能性は少ない。調査台帳を既存させること。



図-16

①発見された埋没根株が要因と考えられる空洞箇所一覧表

左右岸	空洞No.	距離標(kp)	距離標(m)	オフセット	位置	空洞長さ(堤防横断方向m)	空洞幅(堤防横断方向m)	空洞上端直深(m)	空洞厚(m)	空洞面積(m ²)	空洞量(m ³)	表層状況	交通状況	空洞下層の位置関係	路面変状状況	空洞直下状況	陥没危険度ランク評価	対策優先順位	
安倍川左岸	LC-1	0.0	64.7	川表As端から50m	天端	0.8	0.4	0.13	0.70	0.32	0.22	As	歩行者・自転車	PHWLより上位	クラックあり	GL-1.9mまでゆるみ	B	Ⅲ	
	LC-2	0.0	129.8	川表As端から2m	天端	0.6	0.5	0.04	0.26	0.30	0.08	As	歩行者・自転車	PHWLより上位	補修跡あり	ゆるみなし	A	Ⅳ	
	LC-3	0.0	183.8	川表As端から50m	天端	0.6	0.4	0.10	0.80	0.24	0.19	As	歩行者・自転車	PHWLより上位	特になし(開削調査実施)	GL-1.3mまでゆるみ	B	Ⅲ	
	LC-4	0.0	188.8	川表As端から50m	天端	0.8	0.6	0.06	0.14	0.48	0.07	As	歩行者・自転車	PHWLより上位	補修跡あり	ゆるみなし	A	Ⅳ	
	LC-5	0.25	17.4	川表As端から2m	天端	0.6	0.3	0.10	0.10	0.18	0.02	As	歩行者・自転車	PHWLより上位	補修跡、小穴あり(雑草の繁茂あり)	ゆるみなし	B	Ⅳ	
	LC-6	0.25	28.4	川表As端から2m	天端	1.0	0.4	0.05	0.50	0.40	0.20	As	歩行者・自転車	PHWLより上位	特になし(開削調査実施)	ゆるみなし	A	Ⅳ	
	LC-7	0.25	205.6	川表As端から1m	天端	0.6	0.4	0.10	0.37	0.24	0.09	As	歩行者・自転車	PHWLより上位	補修跡、雑草の繁茂あり	GL-1.3mまでゆるみ	B	Ⅲ	
	LC-8	0.50	18.8	川表As端から1m	天端	0.6	0.4	0.10	0.20	0.24	0.05	As	歩行者・自転車	PHWLより上位	補修跡、沈下あり	松林あり、GL-0.8mまでゆるみ	C	Ⅲ	
	LC-9	0.50	158.0	川表As端から3m	天端	0.8	0.4	0.40	0.20	0.32	0.06	As	許可車両・歩行者・自転車	PHWLより上位	クラックあり	GL-2.9mまでゆるみ	C	Ⅲ	
	LC-10	1.25	99.5	川表法肩から3m	天端	1.0	0.6	0.46	0.44	0.60	0.26	As	一般車両の通行多し	PHWLより上位	クラックあり	GL-1.8mまでゆるみ	C	Ⅲ	
	LC-11	1.25	103.9	川表法肩から3m	天端	1.0	0.6	0.50	0.40	0.60	0.24	As	一般車両の通行多し	PHWLより上位	クラックあり	GL-1.4mまでゆるみ	C	Ⅲ	
	LC-12	1.25	111.7	川表法肩から4m	天端	1.0	1.0	0.52	0.38	1.00	0.38	As	一般車両の通行多し	PHWLより上位	クラックあり	GL-2.8mまでゆるみ	B	Ⅲ	
	LC-13	1.25	117.8	川表法肩から4m	天端	1.2	1.0	0.47	0.53	1.20	0.64	As	一般車両の通行多し	PHWLより上位	クラックあり	GL-1.4mまでゆるみ	B	Ⅲ	
	LC-14	1.25	135.5	川表法肩から5m	天端	1.2	1.0	0.56	0.44	1.20	0.53	As	一般車両の通行多し	PHWLより上位	クラックあり	ゆるみなし	B	Ⅱ	
	LC-15	2.00	234.4	川表法肩から3m	天端	0.4	0.4	0.60	1.30	0.16	0.21	As	一般車両の通行多し(路肩)	PHWLより上位	特になし(補修修復済)	GL-2.4mまでゆるみ	C	Ⅲ	
	LC-16	2.25	103.0	川表法肩から4m	天端	1.0	1.1	0.40	0.40	1.10	0.44	As	一般車両の通行多し(路肩)	PHWLより上位	クラックあり	ゆるみなし	B	Ⅱ	
	LC-17	3.25	211.5	川表法肩から50m	天端	1.2	0.6	0.85	0.25	0.72	0.18	掘地	一般車両の通行あり(路肩)	PHWLより上位	特になし	ゆるみなし	C	Ⅲ	
	LC-18	3.50	15.5	川表法肩から2m	天端	0.8	0.6	0.36	0.24	0.48	0.16	As	一般車両の通行あり	PHWLより上位	クラックあり	GL-1.2mまでゆるみ	C	Ⅲ	
	LC-19	3.50	40.0	川表法肩から4m	天端	1.0	0.8	0.28	0.52	0.80	0.42	As	一般車両の通行あり	PHWLより上位	クラックあり	GL-1.7mまでゆるみ	B	Ⅲ	
箇所数小計①																			19
安倍川右岸	RC-1	1.25	20.6	川表法肩から2m	天端	1.0	1.0	1.10	0.30	1.00	0.30	As	許可車両・歩行者・自転車	PHWLより上位	特になし	GL-4.7mまでゆるみ	C	Ⅲ	
	RC-2	1.25	42.8	川表As端から3m	天端	1.0	0.8	0.82	0.48	0.80	0.38	As	許可車両・歩行者・自転車	PHWLより上位	クラックあり	GL-2.4mまでゆるみ	C	Ⅲ	
	RC-3	1.25	77.5	川表法肩から2m	天端	1.0	1.2	0.82	0.68	1.20	0.82	As	許可車両・歩行者・自転車	PHWLより上位	クラックあり	GL-3.1mまでゆるみ	C	Ⅲ	
	RC-4	1.25	63.5	川表As端から2m	天端	1.2	1.1	1.18	0.84	1.32	1.11	As	許可車両・歩行者・自転車	PHWLより上位	クラックあり	GL-4.5mまでゆるみ	C	Ⅲ	
	RC-5	1.25	104.9	川表法肩から2m	天端	1.0	1.0	0.70	1.00	0.70	0.70	掘地	許可車両・歩行者・自転車	PHWLより上位	クラックあり	GL-2.4mまでゆるみ	C	Ⅲ	
箇所数小計②																			5
箇所数合計①+②																			24

図-17

②発見された埋没根株箇所一覧表

左右岸	根株 No.	距離標 (kp)	距離標 (m)	オフセット	位置	根株長さ(堤防 横断方向)m	根株幅(堤防 横断方向)m	根株上端 深さ(m)	根株 鉛直厚(m)	根株面積 (㎡)	表層 状況	交通状況	路面変状状況	根株 状況	対策 優先順位
安倍川 左岸	LP-1	0.00	24.5	川表As端から4m	天端	0.8	0.6	0.40	不明	0.48	裸地	横より河筋のため通行なし	特になし	生木	I(要観察)
	LP-2	0.00	137.8	川表As端から2m	天端	0.8	0.4	0.40	不明	0.32	As	歩行者・自転車	クラックあり	生木	I(要観察)
	LP-3	0.00	179.3	川表As端から2m	天端	0.8	0.6	0.12	不明	0.48	As	歩行者・自転車	補修跡あり	生木	I(要観察)
	LP-4	0.00	181.8	川表As端から3m	天端	0.8	0.4	0.20	不明	0.32	As	歩行者・自転車	補修跡、雑草の繁茂あり	生木	I(要観察)
	LP-5	0.00	197.9	川表As端から3m	天端	0.8	0.6	0.10	不明	0.48	As	歩行者・自転車	補修跡、雑草の繁茂あり	生木	I(要観察)
	LP-6	0.00	237.4	川表As端から2m	天端	0.8	0.2	0.10	不明	0.16	As	歩行者・自転車	補修跡、雑草の繁茂あり	生木(根の可能性あり)	I(要観察)
	LP-7	0.25	114.6	川表As端から2m	天端	1.00	0.2	0.70	不明	0.20	As	歩行者・自転車	補修跡、雑草の繁茂あり	生木	I(要観察)
	LP-8	2.00	195.3	川表法肩から0m	天端	1.0	0.6	0.60	不明	0.60	裸地	歩行者のみ	特になし	生木(根の可能性あり)	I(要観察)
	LP-9	2.00	254.4	川表法肩から3m	天端	0.8	0.3	0.60	不明	0.24	裸地	歩行者のみ	特になし	生木	I(要観察)
	LP-10	2.00	263.8	川表法肩から2m	法面	1.2	0.5	0.50	不明	0.60	裸地	歩行者のみ	特になし	生木	I(要観察)
	LP-11	2.00	266.0	川表法肩から0m	天端	0.8	0.8	0.60	不明	0.64	裸地	歩行者のみ	特になし	生木	I(要観察)
	LP-12	2.00	267.4	川表法肩から1m	天端	0.8	0.8	0.65	不明	0.64	裸地	歩行者のみ	特になし	生木	I(要観察)
	LP-13	2.25	182.1	川表法肩から0m	天端	1.0	0.6	0.50	不明	0.60	裸地	歩行者のみ	特になし	生木	I(要観察)
	LP-14	2.75	159.5	川表法肩から0m	天端	1.0	0.4	0.50	不明	0.40	裸地	歩行者のみ	特になし	生木	I(要観察)
箇所数小計①															14
安倍川 右岸	RP-1	2.00	124.8	川表法肩から2m	天端	0.8	0.5	0.70	不明	0.40	裸地	歩行者のみ	特になし	生木(根の可能性あり)	I(要観察)
	RP-2	2.00	124.8	川表法肩から4m	天端	0.6	0.5	0.70	不明	0.30	裸地	歩行者のみ	特になし	生木(根の可能性あり)	I(要観察)
	RP-3	2.25	197.5	川表法肩から4m	法面	0.8	0.6	0.33	不明	0.48	裸地	歩行者のみ	特になし	生木(RP-4と同様の可能性)	I(要観察)
	RP-4	2.25	197.5	川表法肩から5m	法面	0.8	0.6	0.50	不明	0.48	裸地	歩行者のみ	特になし	生木(RP-3と同様の可能性)	I(要観察)
	RP-5	2.25	206.3	川表法肩から3m	天端	0.6	0.6	0.05	不明	0.36	裸地	歩行者のみ	特になし	生木	I(要観察)
	RP-6	2.25	207.3	川表法肩から4m	法面	0.6	0.6	0.60	不明	0.36	裸地	歩行者のみ	特になし	生木	I(要観察)
	RP-7	2.50	24.2	川表法肩から4m	法面	0.6	0.8	0.32	不明	0.48	裸地	歩行者のみ	特になし	生木	I(要観察)
	RP-8	2.50	115.0	川表法肩から1m	天端	1.0	0.8	0.50	不明	0.80	裸地	歩行者のみ	特になし	生木	I(要観察)
	RP-9	2.50	137.2	川表法肩から1m	天端	0.8	0.4	0.30	不明	0.32	裸地	歩行者のみ	特になし	生木	I(要観察)
	RP-10	3.00	90.0	川表法肩から1m	天端	1.0	0.4	0.53	不明	0.40	As	歩行者・自転車	特になし	生木	I(要観察)
	RP-11	3.00	91.7	川表法肩から1m	法面	0.8	0.4	0.40	不明	0.32	裸地	歩行者のみ	特になし	生木	I(要観察)
箇所数小計②															10
箇所数合計①+②															24

図-18

4. 調査結果

結果として、埋没根株が起因と考えられる空洞は24箇所発見され、そのうち、3箇所は早期対策箇所(Ⅳ)であった。この箇所は、早期に対策(開削、埋め戻し、転圧等)を実施するものとする。(図-17) 空洞伴わない埋没根株は、24箇所発見された。(図-18)

点検結果で空洞または埋没根株の詳細な位置は、座標、台帳等で管理し、現場管理している安倍川出張所の職員へ情報提供し、河川巡視時に注視して巡視することとした。た、巡視する際に位置が分かるように、路面上等に、マーキングを実施した。このマーキングは、座標で管理しているため、紛失した場合もすぐに復旧可能である。

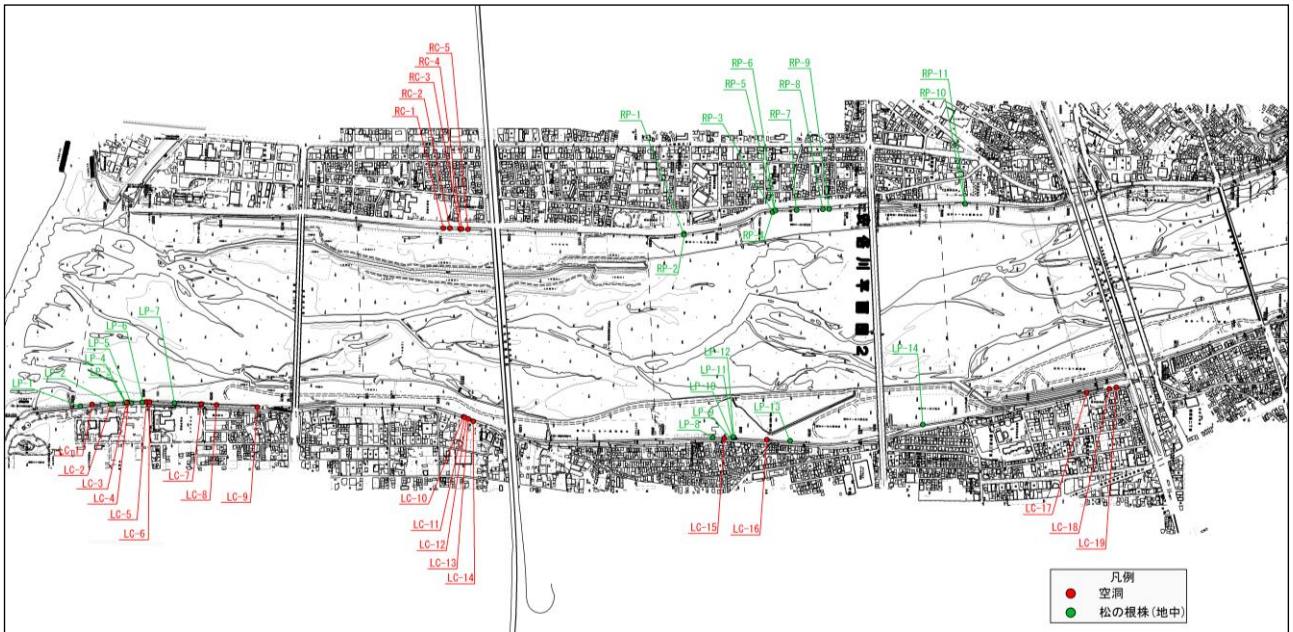


図-19

5. 考察

堤体内の松の根株は、昭和10年代に実施された築堤時に、存置したままとなると70年以上が経過していることとなる。そのうちの多くが詳細な強度試験は実施していないが、根株本体は腐朽していないことが分かった。根株の腐食には、スギ材で一般に10年と言われているが、マツ材では松脂による腐朽防止効果もあり、70年以上が経過しても劣化していない可能性がある。

6. おわりに

本調査により、以下の結果が得られた。

(1)安倍川河口部の堤防堤体内において、松の根株が原因と考えられる24箇所（図-17）の空洞を確認した。このうち3箇所（3箇所の内1箇所については、平成27年度に開削埋め戻しを実施済み）について、早期に対策が必要となることが分かった。

これらは、詳細な位置の把握及び現地でマーキングしているため、河川巡視時に注視することとする。

(2)安倍川河口部の堤防堤体内において、24箇所（図-18）の松の根株を確認したが、腐朽や空洞はなかった。

これについても詳細な位置の把握及び現地でマーキングをしているため、河川巡視時に注視することとする。

(3)今後は、陥没健全度評価で早期対策箇所のうち未対策の2箇所の対策を早急を実施する。その他の箇所については、健全度の評価に応じた頻度で、巡視を実施する。巡視をしていく中で、変化が見られた場合は対応する。

このようにして調査結果、健全度評価及び対策を実施する。今後は、このような方法での調査及び対策等の有効性が確認出来た場合には、他の河川においても同様に実施することも考えられる。

参考文献

- 1) 平成27年度 安倍川河川堤防地中探查業務
- 2) 平成26年度 安倍川大井川構造物耐震点検業務
- 3) 中野新田松並木根系資料整理
- 4) 空洞判定実施方針（案）