	学	位	論	文	内	容	の	要	旧	
学位論文題目	Image (画像	e Proce	ssing]	Fechnic	ques					Lining Based on 外観検査システ
氏 名	NGU	YEN K	IM CU	JONG						

The number of deteriorated concrete components of existing road tunnels has increased dramatically in many countries due to rapid aging. Therefore, the maintenance and management of existing concrete structures of the civil infrastructure system have become a major social concern worldwide. Especially, the existing tunnels were built over 50 years. To keep concrete components in good condition under all circumstances, the inspection plays an important role in the maintenance of infrastructure. Defect detection on concrete tunnel lining surface is one of the basic tasks of the inspection. One of the most frequently adopted inspection techniques is the visual inspection, which is carried out by inspector's observation. It has a number of limitations, such as the high labour costs associated with carrying out tasks, and inaccuracy due to subjectivity, safety, slow inspection speed and disruption to traffic.

This thesis describes a system, which is based on image processing techniques, to aid the visual inspection of tunnel lining. The system uses digital video cameras mounted on a steel framework which is capable of sliding from side to top of the inspecting vehicle to shoot the full surface of the tunnel lining. The device is cheap compared to other technologies, such as MIMM-R or infrared cameras. The purpose of the system is to detect the defects on the tunnel lining surface based on three following themes.

A layout panorama generation method: This research proposes an image acquisition device with a simple and effective structure that obtains sufficient image data for objective and precise quantification. Furthermore, image stitching software was developed to create large layout panorama from the tunnel lining surface images, making it easier to visualize a large view of the tunnel lining. To achieve this, a mosaicing technique consisted of image matching and stitching methods is proposed. In that, image matching method is detail presented in similarity metric such as sum of square difference (SSD), sum of absolute difference (SAD), normalized-cross correlation (NCC), zero mean normalized-cross correlation (ZNCC), curvature metrics (CUR), and mean curvature at the nearest neighbor pixels as well as the pixel being processed (CNP) to find correct matching points. Moreover, in the curvature metric, median filter is used for refinement to smooth image motion quantity (IMQ) in the consecutive image stitching process. Accordingly, an image stitching software is developed based on the proposed algorithm to create a layout panorama of the tunnel lining surface for assisting defect inspection. Moreover, experimental results for an actual tunnel demonstrate that the curvature measurement can match consecutive images accurately.

To create a crack map for tunnel lining surface, the author propose two approaches that are semi-automatic crack detection method and fully automatic crack detection method.

A semi-automatic crack detection method: It is difficult to extract crack pixels for all of image

based inspecting regions automatically because of irregularity of cracks and various complex conditions of noise concrete images. This research provides a semi-automatic crack detection method based on a collaboration between human and computer using interactive genetic algorithm to detect the cracks of each large-size concrete surface image.

Advantage of this approach is that inspectors can use the crack detection software to extract crack pixels without knowledge of expertise level of the image processing techniques. However, the results of the crack detection are so sensitive depending on user's practical skill. Therefore, the author also propose an automatic crack detection method to verify the accuracy and image processing time of the crack detection.

An automatic crack detection method: This approach is based on a supervise learning technique using genetic algorithm and an objective function to adjust the optimum parameter of the image processing techniques. The objective function is relied on the loss and noise ratio analysis.

Advantage of this approach is to use a specific parameter for detecting the cracks of all input images at the same time. Therefore the processing time is shorten significantly.

Disadvantage of this approach is to need the large training data for learning parameter adjustment. The automatic crack detection algorithm would be failed for some difficult crack detection cases such as narrow contrast, noises, and artifacts...

For the experimental results of 50 images with various environmental conditions and thin crack width, the average accuracy of the fully automatic crack detection method for testing data is 89.7% in pixel level. Meanwhile the average accuracy of the semi-automatic crack method for testing data is 91.4% in pixel level.

Moreover, the processing time of the semi-automated method and the fully automated method for the testing images is 30.5 minutes and 1 minute, respectively.

It is concluded that the semi-automatic method yields the higher accuracy. Meanwhile the fully automatic method achieves the effectiveness of the working time but the accuracy of crack pixel detection is needed in a further improvement.

5. の別紙3

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

(博士後期課程博士用)

山口大学大学院理工学研究科

	1				-	- 1	山口大学大学院理工学研究和				
報告番号	理工博甲 第	762	号		氏 名		NGUYEN KIM CUONG				
			主		査	河	村	圭			
			審	查委	員	進	土	IE.	人		
最 終	試験担当者	191	審	查委	員	多	田	村	克	2	
			審	查委	員	中	村	秀	明		
		so han the	審	査 委	員	藤	田	悠	介		
【論文題目】		211	1 8	757	aley	1	-85-	1243	0.1	1 10 10 10	
Study of Defect I	nspection System fo	or Concret	e Tuni	nel Lir	ing Ba	sed o	n Im	age	Proc	essing Technique	
(画像処理技術に	基づくトンネル覆コ	ニコンクリー	ートの	外観検	査シス	テムの	り研究	문)	20	the second designed	
【論文審査の結果	し及び最終試験の結果	른)									
日本の道路トン	ペネル(約1万箇所)	は, その	多くが	高度経	済成長期	朝に変	書設 ざ	sh,	高調	命化や老朽化が顕れ	
	, トンネル点検は,							DUNG SAME		work the real has been and the second of the second	
1		THE	-1251 P	* Cas	?, c	シロ第	ыц <u>п</u> .,	E	ניונ	(111, 10, 201, 11, 11, 11, 11, 11, 11, 11, 11, 11,	
n. a.		5-1ª L.	シュート	1A ME	サナシーボター	18 J	1.5	1200	ىل تا ر	ふの白動ルチェル	
	て、第1章では、ま									and the state of t	
	主要な技術が、トン										
	ことを明らかにした					- 20					
	限展開図作成」,「撮影										
	E存のトンネル覆工ニ			ALCONDUCT OF ALCONDUCT OF	Conserved in the second			States and			
かにした. さらに	、本研究目的を、点	(検装置ま)	ミシス	テムの	操作に〕	專門自	りな失	口識を	一必要	思とせず, 十分な経	
寺管理予算を有さ	ない地方自治体でも	導入が可能	能な外	観検査	システ.	ムの厚	発と	: L,	その)要件を整理した.	
第3章では,	トンネル壁面撮影装	長置」の開発	発と「	撮影画	像からの	の撮影	区画 個	良展閉	同図化	「成」の研究を行	
った.具体的には	、, デジタルビデオオ	フメラを用い	いた車	載型撮	影装置)	こより	っトン	~ 木川	/壁正	iの動画を撮影し,	
	i像を結合することで										
	開発した撮影装置に										
	ヤプチャ画像間の結										
					~ * * *		1			ou i companya ang ang ang ang ang ang ang ang ang an	
		見度という。						-t-	2-3	~~ キャプチャー	
付したが, 画像結	合エラー率が 20% 種		十分な	結合精	度が得	られが	よか・				
すしたが,画像結 象間の重なり領域	合エラー率が20%種の画素値差分布のな	配変化量為	十分な を類似	結合精 度指標	度が得 とした約	られた 古合引	よか~ F法を	:新た	に携	是案し, 画像結合:	
対したが,画像結 象間の重なり領域 ラー率が 1.0%未約	合エラー率が 20%和 の画素値差分布の勾 満を可能とした.さい	の配変化量な らに,結合:	十分な を類似	結合精 度指標	度が得 とした約	られた 古合引	よか~ F法を	:新た	に携	是案し,画像結合:	
けしたが,画像結 象間の重なり領域 ラー率が 1.0%未済 範囲では,結合エ	合エラー率が20%和 の画素値差分布の勾 満を可能とした.さい ラー率0%を実現し	D配変化量を らに、結合 た.	十分な を類似。 エラー	結合精 度指標 の補正	度が得 とした 新 手法を	られ7 吉合ヨ 是案)	よか~ 戸法を し,オ	?新た <研究	こに 携	是案し,画像結合: 川用した撮影画像(
対したが,画像結 象間の重なり領域 ラー率が 1.0%未約 範囲では,結合エ 第 4 章では,「	合エラー率が20%和 の画素値差分布の勾 満を可能とした.さい ラー率0%を実現し 撮影画像からのひひ	の配変化量な るに、結合: た. 『割れ抽出』	十分な を類似) エラー に関 [・]	結合	度が得 とした 新 手法を 究 を 行 ⁷	られた 吉合 引 提案)	なか~ F法を し, オ こ. 身	- 新た - 研究 - 具体的	こに携行で利用した。	と案し、画像結合: 別用した撮影画像の は、タッチパネル	
村したが,画像結 象間の重なり領域 ラー率が 1.0%未約 範囲では,結合エ 第 4 章では,「 問いた抽出作業の	合エラー率が20% の画素値差分布のな 満を可能とした.さい ラー率0%を実現し 撮影画像からのひひ 効率化手法,さらに	の配変化量な らに、結合: た. パ割れ抽出」 に、画像処理	十分な を類似 エラー に 関 法	結合	度が得 とした 新 ま 法 を 行 7 型 遺 伝 「	られ 結 合 引 に な っ た バ の た の に か い が 。 お つ う い つ た い つ た い う い つ た つ た つ た つ た つ た つ た つ た つ た つ た つ つ つ た つ た つ た つ た つ つ た つ つ つ つ た つ つ つ つ つ つ つ つ つ つ つ つ つ	なか~ 手法を し,本 こ. リ レゴリ	こ新た に研究 し、本 レズム	こに携 宅で利 らにに	 と案し、画像結合: 川用した撮影画像(は、タッチパネル) 融合させた、ユー・ 	
村したが,画像結 象間の重なり領域 ラー率が 1.0%未約 範囲では,結合エ 第 4 章では,「 問いた抽出作業の	合エラー率が20%和 の画素値差分布の勾 満を可能とした.さい ラー率0%を実現し 撮影画像からのひひ	の配変化量な らに、結合: た. パ割れ抽出」 に、画像処理	十分な を類似 エラー に 関 法	結合	度が得 とした 新 ま 法 を 行 7 型 遺 伝 「	られ 結 合 引 に な っ た バ の た の に か い が 。 お つ う い つ た い つ た い う い つ た つ た つ た つ た つ た つ た つ た つ た つ た つ つ つ た つ た つ た つ た つ つ た つ つ つ つ た つ つ つ つ つ つ つ つ つ つ つ つ つ	なか~ 手法を し,本 こ. リ レゴリ	こ新た に研究 し、本 レズム	こに携 宅で利 らにに	 建案し、画像結合: 利用した撮影画像(は、タッチパネル; 融合させた、ユーー 	
対したが,画像結 象間の重なり領域 ラー率が 1.0%未 範囲では,結合エ 第4章では,「 用いた抽出作業の が画像処理知識を	合エラー率が20% の画素値差分布のな 満を可能とした.さい ラー率0%を実現し 撮影画像からのひひ 効率化手法,さらに	の配変化量な らに、結合: た. や割れ抽出」 に、画像処理 ちな画像処理	十分な を エラー	結合 精 度 の 補 正 ず る 対 エ タ	度が得 とした 新 子 法 を 行 7 型 遺 整 を 行 7 二 の で の の の の の の の の の の の の の の の の の	られ ^た 吉合ヨ よった の アル ど	なか~ を法 た 、 ゴ て こ 、 ゴ て	そ新た 不研究 具体的 レズン 自	に扱われていた。 において利用した。 において利用した。 「「「「「「「「「「「」」」 「「」」」 「「」」」 「」」」 「」」」	 提案し、画像結合: 利用した撮影画像(は、タッチパネル; は合させた、ユーー 抽出法を提案した. 	
 村したが,画像結 象間の重なり領域 ラー率が 1.0%未消 逸囲では,結合エ 第4章では,「 問いた抽出作業の ド画像処理知識を 本手法の有効性の 	合エラー率が20%種 の画素値差分布の公 満を可能とした。さい ラー率0%を実現し 撮影画像からのひひ 効率化手法,さらに	の配変化量な らに、結合: た. パ割れ抽出」 に、画像処理 うな画像処理 こより多少の	+分な を類似) エラー 関 手 引 子 に 手 パラ の 差 は	結 	度が得 ま を し た 新 ぞ を 行 7 型 遺 伝 「 都 を う 、 ま た を う 、 を う 、 を う 、 を う 、 を う 、 を う 、 を う 、 を う 、 、 を う 、 、 で う 、 、 で う 、 、 で う 、 、 う 、 、 う 、 、 う 、 、 う 、 、 う 、 、 う 、 、 う 、 、 う 、 、 う う う 、 う 、 う 、 う 、 う 、 う 、 う 、 う 、 う 、 う う う 、 う う う う 、 う う 、 う う う う う う う う う う う う う	られ ^対 合 言 定 か が が よ う ず に と っ た バ れ う う う う う う う う う う う う う	なか~ 手法を し、オ ニ. 手 リ こ す こ	 新た 4 4<td>に接てて にで 利用した 同時 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本</td><td> 2案し、画像結合: 1)用した撮影画像(は、タッチパネル; ま合させた、ユーー 由出法を提案した、 いれ抽出作業に要一 </td>	に接てて にで 利用した 同時 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本	 2案し、画像結合: 1)用した撮影画像(は、タッチパネル; ま合させた、ユーー 由出法を提案した、 いれ抽出作業に要一 	
 討したが,画像結 象間の重なり領域 ラー率が 1.0%未消 範囲では,結合エ 第4章では,「 第4章では,「 明いた抽出作業の が画像処理知識を 本手法の有効性の る時間に対して, 	合エラー率が 20% 約回素値差分布の名 満を可能とした.さい ラー率 0%を実現し 撮影画像からのひひ 効率化手法,さらに 必要としない視覚的 検証では,ユーザに 85%以上の時間短縮	の配変化量な らに、結合: た. パ割れ抽出」 に、画像処理 うな画像処理 こより多少の	+分な を類似) エラー 関 手 引 子 に 手 パラ の 差 は	結 	度が得 ま を し た 新 ぞ を 行 7 型 遺 伝 「 都 を う 、 ま た を う 、 を う 、 を う 、 を う 、 を う 、 を う 、 を う 、 を う 、 、 を う 、 、 で う 、 、 で う 、 、 で う 、 、 う 、 、 う 、 、 う 、 、 う 、 、 う 、 、 う 、 、 う 、 、 う 、 、 う う う 、 う 、 う 、 う 、 う 、 う 、 う 、 う 、 う 、 う う う 、 う う う う 、 う う 、 う う う う う う う う う う う う う	られ ^対 合 言 定 か が が よ う ず に と っ た バ れ う う う う う う う う う う う う う	なか~ 手法を し、オ ニ. 手 リ こ す こ	 新た 4 4<td>に接てて にで 利用した 同時 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本</td><td> 2案し、画像結合: 1)用した撮影画像(は、タッチパネル; ま合させた、ユーー 由出法を提案した、 いれ抽出作業に要一 </td>	に接てて にで 利用した 同時 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本	 2案し、画像結合: 1)用した撮影画像(は、タッチパネル; ま合させた、ユーー 由出法を提案した、 いれ抽出作業に要一 	
討したが、画像結 像間の重なり領域 ラー率が 1.0%未約 範囲では、結合エ 第4章では、「 用いた抽出作業の が画像処理知識を 本手法の有効性の る時間に対して、 得ることができた	合エラー率が 20% 約回素値差分布の名 満を可能とした.さい ラー率 0%を実現し 撮影画像からのひひ 効率化手法,さらに 必要としない視覚的 検証では,ユーザに 85%以上の時間短縮	の配変化量で らに、結合: た. パ割れ抽出」 に、画像処理 により多少の 話が示され、	+分な を エラー に 手 パラ に 手 パラ は 手 。 手 き	結	度が得 そした約 完を行っ 型遺整が、 「 び割れる	られ た 吉 島 た っ た が 形 ま き 抽 出	なか~ 手法を こ、 ゴー こ、 ゴー よ こ よ し た	お研 体ズ半る場合	に花和に南北市	と案し、画像結合: 別用した撮影画像の は、タッチパネル系 会させた、ユーー 的出法を提案した、 別れ抽出作業に要一 同等の抽出精度系	
討したが、画像結 象間の重なり領域 ラー率が1.0%未浴 範囲では、結合エ 第4章では、「 用いた抽出作業の が重像処理知識を 本手法の有効性の る時間に対して、 得ることができた 第5章では、第	合エラー率が20%和 の画素値差分布の4 満を可能とした.さい ラー率0%を実現し 撮影画像からのひひ 効率化手法,さらに 必要としない視覚的 検証では,ユーザに 85%以上の時間短縮 4章に続いて,ひひ	の配変化量な らに、結合: た. パ割れ抽出」 に、画像処理 なより多少の 音が示され、 パ割れ抽出の	+分類ラ に手パ差手 研 の の の の の の の の の の の の の の の の の の	結度の すとメ見き であれ る対一らで ある	度が得 そした デ 空 電 握 整 で 一 で 割 れ そ の で 、 一 の で 一 数 で 一 で む に を う で で 一 で む に う で う で 一 で む で っ で っ で っ で っ で っ で っ で っ で う で う い い う い う い う い い う い い う い う い う い う い う い う い う い う い う い う い う い う い う い う い う い う い い う い う い い つ い う い い う い い い い い い い い い い い い い	られ お 合 常 に お や 引 に よ わ う に よ わ う に た ま わ の ア が お き わ う に う た う の ア が お き わ の ア が お き わ の ア が よ き わ の ア が よ き わ の ア が よ き わ の ア が よ き わ の ア が よ き わ の ア が よ き わ の ア が よ き わ の ア が よ き わ の ア が よ き わ の ア が よ き わ か の の の の の の の の の の の の の	なか~ 手法を た、 手 リン て に た 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日	お研究 体が少年の なが の が の の の の の の の の の の の の の の の の	に花和 に 南北害, 全	■案し、画像結合: 川用した撮影画像の は、タッチパネルを 独合させた、ユーー 抽出法を提案した、 川れ抽出作業に要一 同等の抽出精度を 注自動抽出法の検討	
討したが,画像結 像間の重なり領域 ラー率が1.0%未行 範一率が1.0%未行 第4章では,結合エ 第4章では,「 明いた抽出作業の が本手間に対して, 得ることができた 第5章では,第 とした.具体的に	合エラー率が20% 約回素値差分布の名 満を可能とした.さい ラー率0%を実現し 撮影画像からのひひ 効率化手法,さらに 必要としない視覚的 検証では、ユーザに 85%以上の時間短縮 4章に続いて、ひひ は、遺伝的アルゴリ	の配変化量である。 た、 や割れ抽出」 に、結合: た、 や割れ抽出」 に、なのの ののの のののの に、 た、 や割れ抽出」 に、 なのののの ののののの ののののの のののののの で、 や 割れ、 本価ののののの ののののののの で、 や ののののののののののののののの で、 や のののののののののののののののののののののののののののののののののの	 十分な 一 里里の り し し て に 手 パ に 手 ボ デ に 手 ボ テ エ エ<	結度の すとメ見き で画の精標正 研話タれひ る処	度が得 また を た を 行 が 電 整 で 割 れ る が 、 手 、 を 行 で 電 虚 を 行 が で か い た た た 。 を っ た の た の た う 、 を っ た う 、 を っ で つ で の で し た た う っ を っ て つ で の の の の の の の の の の の の の	らお提 なり可手を のをおう かんり ひとう	なか~を本 見りるよた 日间	お研究 体ズ半る場 をるった	にで に な動びと 完全自	と案し、画像結合: し用した撮影画像の は、タッチパネル は、タッチパネル は、させた、ユーー 自出法を提案した しれ抽出作業に要 同等の抽出精度 注自動抽出法の検索	
討したが,画像結 像間の重なり領域 ラー率が 1.0%未約 範 4 章では,結合エ 第 4 章では,「 第 4 章では,「 明いた独四年知識を 本時間に対して, るこをでは,第 をした. 具体的に 援 行い,第4章で援	合エラー率が20%和 の画素値差分布の4 満を可能とした.さい ラー率0%を実現し 撮影画像からのひひ 効率化手法,さらに 必要としない視覚的 検証では,ユーザに 85%以上の時間短縮 4章に続いて,ひひ	の配変化量な らに、結合: パ割れ抽出」 に、結合: パ割れ動像処理 に、ないの多少の 話が示され、 パ割れたる利用 による、ひて	 十分な 一 単 単 単 ホラ に 手 パ に 手 ポ ボ て れ ボ ボ<!--</td--><td>結度の すとメ見き で画抽 る対一らで あ像出 るのが一らで あ像出</td><td>度が得 得 そ た を 行 伝 を 一 究 型 調 た が 割 れ で が 明 里 影 が の で 調 た が 割 か 、 新 い れ る で う で 、 の で し た を っ た う で う で う で う で し た を っ で う で の の の の の の の の の の の の の</td><td>ら古堤 な内可手を のを改</td><td>なかっを本 長りるよた 留住化 そうしん</td><td>お研 体ズ半る場 をるの</td><td>にで にを動びと 完全県,</td><td>建案し、画像結合: 別用した撮影画像の は、タッチパネルに 会させた、ユーー 自出法を提案した。 別れ抽出作業に要一 同等の抽出精度: 自動抽出法の提案: ひび割れ抽出作</td>	結度の すとメ見き で画抽 る対一らで あ像出 るのが一らで あ像出	度が得 得 そ た を 行 伝 を 一 究 型 調 た が 割 れ で が 明 里 影 が の で 調 た が 割 か 、 新 い れ る で う で 、 の で し た を っ た う で う で う で う で し た を っ で う で の の の の の の の の の の の の の	ら古堤 な内可手を のを改	なかっを本 長りるよた 留住化 そうしん	お研 体ズ半る場 をるの	にで にを動びと 完全県,	建案し、画像結合: 別用した撮影画像の は、タッチパネルに 会させた、ユーー 自出法を提案した。 別れ抽出作業に要一 同等の抽出精度: 自動抽出法の提案: ひび割れ抽出作	

ては、やや抽出精度が劣る結果となり、完全自動抽出実現の可能性と課題を示した.

第6章では、本研究の結論をまとめると共に、今後の展望として実用化への残された課題を示した. 本研究は、既存点検装置と比較して安価かつ簡易にトンネル壁面を撮影し変状図(ひび割れ図)を効率 的に作成できるトンネル覆エコンクリート外観検査システムを構築するための要素技術の研究を行なった ものであり、提案手法の実験結果は、実用化への発展に寄与することが期待できるものである.

公聴会では、学内外合わせて 20 名の参加者があった.また、①ひび割れ完全自動抽出手法の精度とその課題、②ひび割れ長さと幅の計測の必要性、③トンネル壁面撮影装置のカメラの配置や性能とひび割れ抽出への影響などに関する質問があり、いずれに対しても適切に回答がなされた.

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士(工学)の論文に十分値するも のと判断した.

論文内容及び審査会, 公聴会での質疑に関する応答などから, 最終試験は合格とした.

なお,主要な関連論文の発表状況は,下記の通りである(関連論文:4編,参考論文:なし) 【関連論文】

- C.N. Kim, K. Kawamura, A. Tarighat : A Study On Semi-Automatic Concrete Cracks Detection Using Interactive Genetic Algorithm, Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 38, No. 1, pp. 2061-2066, 2016.
- 2) K. Kawamura, M. Yoshizaki, C. N. Kim, M. Shiozaki, H. Nakamura: トンネル壁面画像展開図作成 における画像間の画素値差分布の勾配を利用した画像結合位置探索手法に関する研究, Journal of Japan Society of Civil Engineers, F3, Vol.73, No. 2, pp.I_188-I_200, 2018.
- 3) C. N. Kim, K. Kawamura, A. Tarighat, H. Nakamura : A Crack Detection Method For Concrete Infrastructures Based On Image Processing Technique And Genetic Algorithm, Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 40, No. 1, pp. 1785-1790, 2018.
- 4) C. N. Kim, K. Kawamura, A. Tarighat, and M. Shiozaki : Development of an Automatic Crack Inspection System for Concrete Tunnel Lining Based on Computer Vision Technologies, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol.371, 2018. (Doi:10.1088/1757-899X/371/1/012015)

【参考論文】 なし