



# 橋橋看

臺灣北區橋樑劣化程度因子分析與劣化速度之預測

製造數據科學 L 組

蔡宗翰、蔡庭恩、林奕霆、王柏詒

2023/12/22

# 簡報大綱

---

1

動機與背景介紹

2

資料簡介

3

資料前處理

4

重要特徵分析  
與模型預測

5

結論

6

討論

# 01

## 動機與背景介紹

### 研究動機

- 宜蘭縣南方澳大橋意外斷裂事故引起民眾對「人為檢測與監測」與「橋樑安全」的思考
- 橋樑作為每日通勤、生活必要元素，如何維持「安全穩定」

### 研究背景

- 北區共 883 座橋樑，具人口密度高且氣候潮濕、轄區橋樑承受交通量最大、雨天數最多等特色，使北區橋樑相比中、南區需更頻繁調動資源進行橋樑劣化之平時與特別檢測
- 目前皆憑藉橋樑檢測商與北分局同仁之「經驗」與「感覺」，決定哪座橋樑應「優先」檢修、檢修哪修構件。即使擁有資料庫，也僅僅停留在「紀錄」之功能，而未充分利用資料所能帶來的分析與預測效益

與交通部高速公路局—北區養護工程分局合作，運用該局內部資料庫協助優化橋樑檢測作業期程與流程，給予檢修人員除了經驗法則外的科學依據

# 01

## 問題定義

### 橋樑劣化重要因子分析

---

- OLS
- Random Forest
- Elastic Net

### 預測橋樑快速劣化與否

---

- SMOTE 平衡資料集
- Logistic Regression
- Random Forest
- XGBoost, etc.

### 網頁查詢介面

---

供北分局 & 檢測商參考

- 橋樑劣化重要因子
- 各橋樑劣化預測結果
- 視覺化橋樑基本資料

## 資料來源

交通部高速公路局北區養護工程分局授權之國道橋樑管理系統



FREWAY  
BUREAU  
M O T C  
北分局

### ● 橋樑基本資料

(883 rows, 105 columns, 每一列資料為一座橋樑)

### ● 2018 - 2023 年橋樑維修情況資料

(30000+ rows, 含檢測類別、DERU 值、損壞位置、維修構件等欄位)

11/14 與北分局、橋樑檢測商開會，瞭解橋樑檢測領域知識並共識可驗證的重要變數

35 個獨立變數(X) + 橋樑急迫性 U 值作為相依變數(Y)進行分析

檢測維修資料														
檢測日期	檢測類別	檢測單位	D	E	R	劣化類型	狀態	建議施工法	數量	單位	損壞位置	維修紀錄ID	維修構件	施工方法
2020/6/10	定期檢測	拓緯工程顧問有限公司	2	1	2	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	未維修	混凝土剝落鋼筋補筋修復	30	處	15k+330_i		橋面層	
2020/6/10	定期檢測	拓緯工程顧問有限公司	2	1	2	滲水、白蟻	未維修	白蟻處理 (平方公尺)	0.1	平方公尺	PW106-1_B		橋墩/帽梁	
2020/6/10	定期檢測	拓緯工程顧問有限公司	2	1	2	滲水、白蟻	未維修	白蟻處理 (平方公尺)	0.05	平方公尺	PW106-2_F		橋墩/帽梁	
2020/6/10	定期檢測	拓緯工程顧問有限公司	2	1	1	混凝土剝落、破碎、鋼筋、鋼縫或鉚釘外露、銹蝕	未維修	混凝土修復 (0.4*0.4*0.05m)	0.03	平方公尺	S106G3		主梁	
2020/6/10	定期檢測	拓緯工程顧問有限公司	2	1	1	混凝土剝落、破碎、鋼筋、鋼縫或鉚釘外露、銹蝕	未維修	混凝土修復 (<0.4*0.4*0.05m)	0.08	平方公尺	S108G3		主梁	
2020/6/10	定期檢測	拓緯工程顧問有限公司	2	1	1	混凝土剝落、破碎、鋼筋、鋼縫或鉚釘外露、銹蝕	未維修	混凝土修復 (<0.4*0.4*0.05m)	0.02	平方公尺	S115G3		主梁	
2020/6/10	定期檢測	拓緯工程顧問有限公司	2	1	1	混凝土剝落、破碎、鋼筋外露、銹蝕	未維修	鋼筋除鏽及混凝土修復<0.4*0.4*0.05m)	0.02	平方公尺	S106D2-2_F		橫隔梁	

# 03

## 資料前處理

Independent Variable

### 數值型態變數 X

月均溫度、平均月相對濕度、平均總日照時數、年平均年降雨量、平均銑年腐蝕速率、平均碳鋼年腐蝕速率、年平均每日交通量、橋梁總長(M)、最大淨寬(M)、最小淨寬(M)、總車道數、主線車道數、離海岸距離(M)、橋梁最接近斷層距離、設計震度、設計水平地表加速度、設計垂直地表加速度、最大考量地表加速度、設計水平地震力係數、設計垂直地震力係數

- **氣候資料**取自中央氣象署每年每月北區測站資料
- **金屬腐蝕資料**使用交通部運研所開放資料，取北部地區測站對應該橋樑所在之行政區
- **車流量資料**使用高公局之開放資料「電子收費通行量統計」，比對交流道與橋樑位置
- 缺值以**眾數**處理

# 03

## 資料前處理

Independent Variable

### 類別型態變數 X

是否為跨水橋、**土壤液化潛勢**、橋下有無租用、橋址條件、是否屬監控橋梁、**主梁材質**、**設計活載重**

- 否:0;是:1
- **土壤液化潛勢** 查詢系統, 高:3;中:2;低:1;無資料:0
- **主樑材質** 分為混凝土、鋼構造等, 利用 One-Hot Encoding 處理(否:0;是:1)
- **設計活載重** HS20-44+10%、HS20-44+15%, 其中HS20-44 至 HS20-44+34% 資料數超過 90%, 因故以HS20-44 為 1, HS20-44+10%為 1.1、HS20-44+15% 為 1.15, 依序照比例進行數值編碼;其餘小於 20 km 等 9 個變數則以以上 13 個活載重數值之**眾數**進行填補

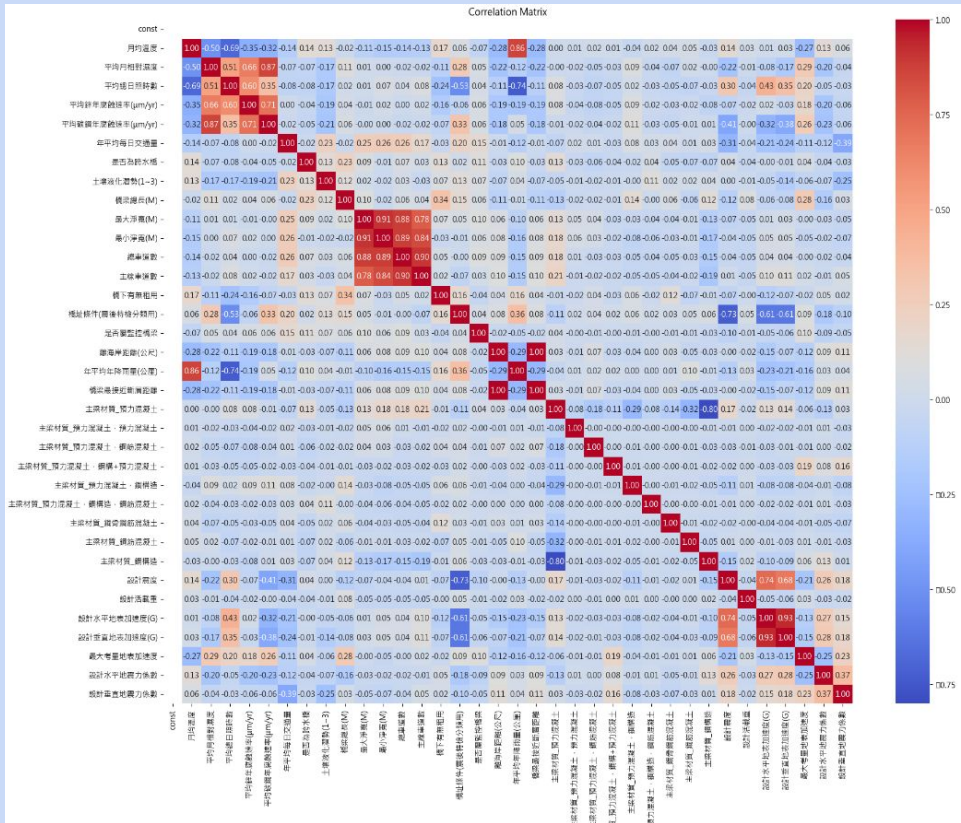


## Independent Variable

# 資料前處理

## Independent Variable

相關係數矩陣 





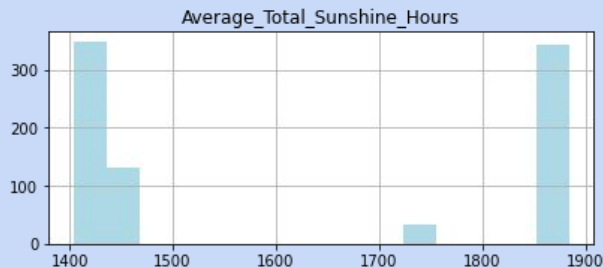
# 03

## 資料前處理

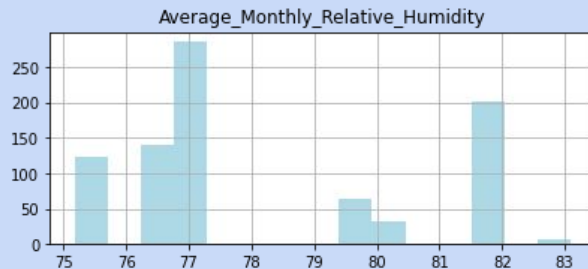
Independent Variable

### Independent Variable

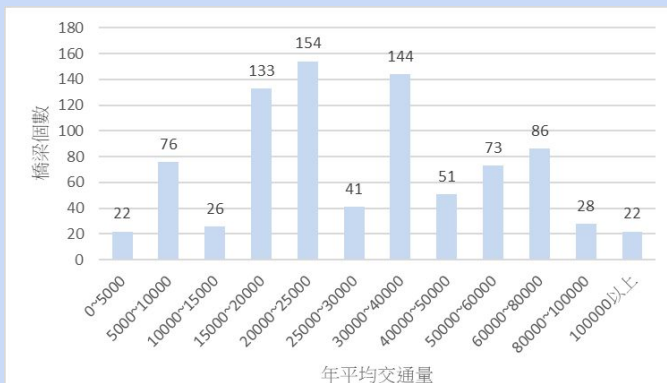
平均總日照時數



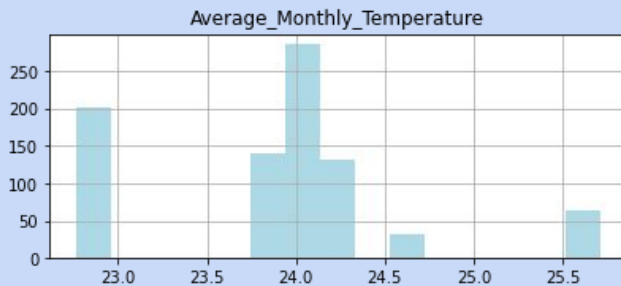
平均月相對溼度



年平均交通量分布圖



月均溫度分布圖



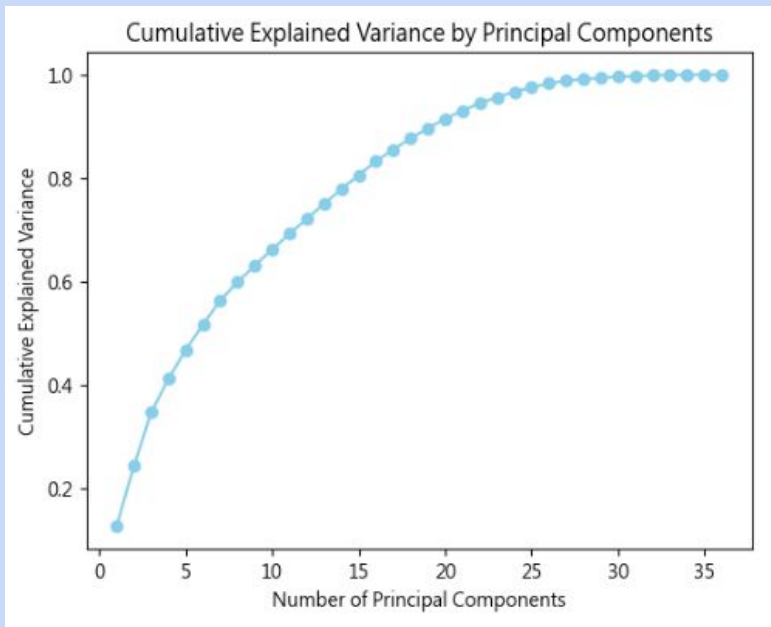
# 03

## 資料前處理

Independent Variable

### Independent Variable-PCA

這14個特徵可以解釋80%的變異：月均溫度、平均月相對濕度、平均總日照時數、平均鋅年腐蝕速率、平均碳鋼年腐蝕速率、年平均每日交通量、是否為跨水橋、土壤液化潛勢、橋梁總長(M)、最大淨寬、最小淨寬、總車道數、主線車道數、橋下有無租用

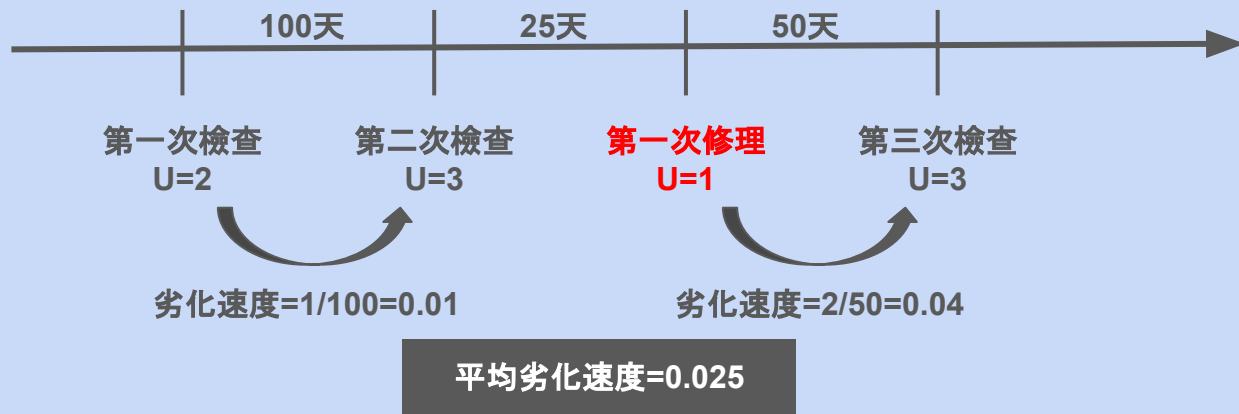


# 03

## 資料前處理

Dependent Variable

### Dependent Variable



# 03

## 資料前處理

Dependent Variable

### Dependent Variable

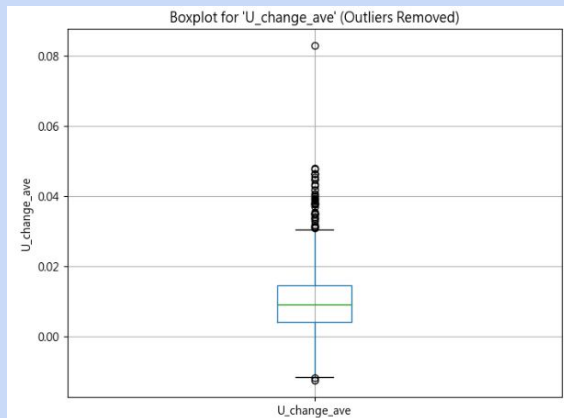
D、E、R 綜合評估後給予橋樑每個構件一個分數 (U 值)

DER&U評估準則

	0	1	2	3	4
程度(D)	無此項目	良好	尚可	差	嚴重損害
範圍(E)	無法檢測	< 10%	< 30%	< 60%	<
影響度(R)	無法判定影響度	微	小	中	大
急迫性(U)	無法判定急迫性	例行維護	3年內	1年內	緊急處理維修

註：鋼筋混凝土橋梁及鋼結構橋梁均採此評估準則進行檢測及評估。

用 IQR\*1.5 刪掉下界 outliers, 因為不可能劣化速度是負的



樣本數: 836

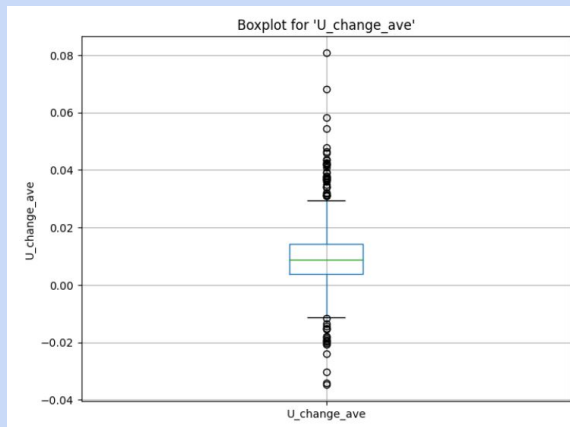
每座橋梁我們根據每個構件的 U 值, 進行加權後算出「橋梁分數」

表 C2.4.1 各組合構件對橋梁重要性權重參考表

項次	構件	權重	項次	構件	權重
1	引道路堤	3	12	橋墩保護設施	6
2	引道護欄	2	13	橋墩基礎	8
3	河道或土壤	4	14	橋墩墩體	7
4	引道路堤-保護設施	3	15	支承	5
5	橋台基礎	7	16	防落設施	5
6	橋台	6	17	伸縮縫	6
7	翼牆/擋土牆	5	18	主要構件	8
8	摩擦層	3	19	次要構件	6
9	排水設施	4	20	橋面板	7
10	緣石及人行道	2	21	其他 <sup>(a)</sup>	
11	橋護欄	3			

劣化速度 (U\_change\_ave) = U增加程度/距離上次檢修的天數

樣本數: 856



# 04

## 重要特徵分析 與模型預測

影響橋梁劣化速度  
之重要因子

OLS

p-value < 0.05

Feature	P-value	Coef	Insight
月均溫度	0.002	+	月均溫度越高, 劣化速度越快
平均總日照時數	0.043	-	日照越多, 劣化速度越慢(北部)
平均月相對濕度	0.035	+	濕度越高, 劣化速度越快 (符合預期, 東北季風)
年平均每日交通量	0.044	-	交通量越多, 劣化速度越慢(不符合預期, 可能和橋梁本身設計有關)
橋下有無租用	0.001	+	有租用, 劣化速度越快(人為因素)
是否屬監控橋梁	0.004	+	屬於監控橋梁, 劣化速度越快
平均年降雨量(公厘)	4.64e-06	-	降雨越多, 劣化速度越慢(不符合預期)
設計垂直地表加速度(G)	0.023	+	原本設計的越堅固, 或本來設計承受較大的係數, 劣化速度越快(可能真的也會承受更大的外部因素)
設計水平地震力係數	0.014	+	
設計垂直地震力係數	0.011	+	

# 04

## 重要特徵分析 與模型預測

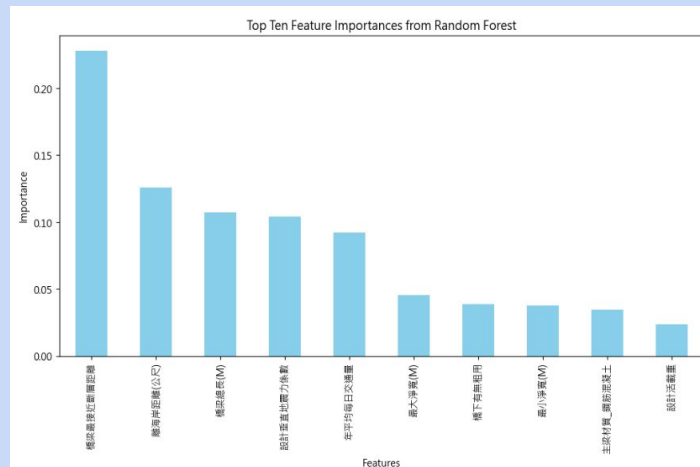
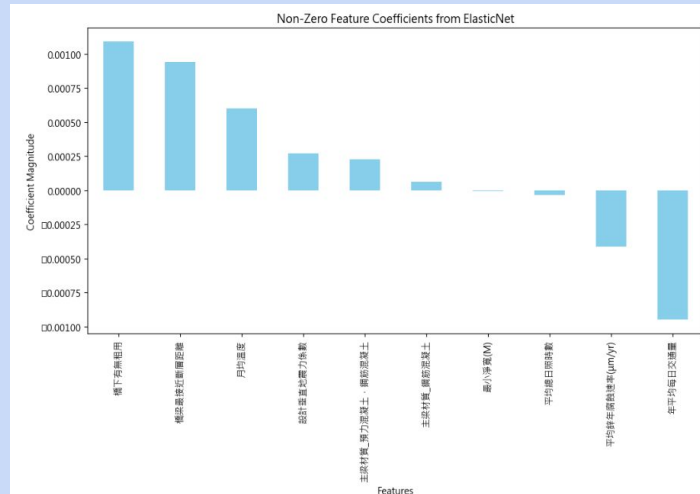
影響橋梁劣化速度  
之重要因子

### Elastic Net

- 橋下有無租用
- 橋梁最接近斷層距離
  - ⇒ 斷層或許跟地震時受到的搖晃有關
- 月均溫度
- 設計垂直地震力係數
- 主樑材質 預力混凝土, 鋼筋混凝土
  - ⇒ 跟材質有關
- 平均總日照時數
- 平均銻年腐蝕速度
- 年平均每日交通量
- 平均總日照時數
- 最小淨寬

### Random Forest

- 橋梁最接近斷層距離
- 離海岸距離
- 橋梁總長
- 設計垂直地震力係數
- 年平均每日交通量
- 最大淨寬
- 橋下有無租用
- 最小淨寬
- 主樑材質 鋼筋混凝土
- 設計活載重
  - ⇒ 設計橋樑可以承受的重量





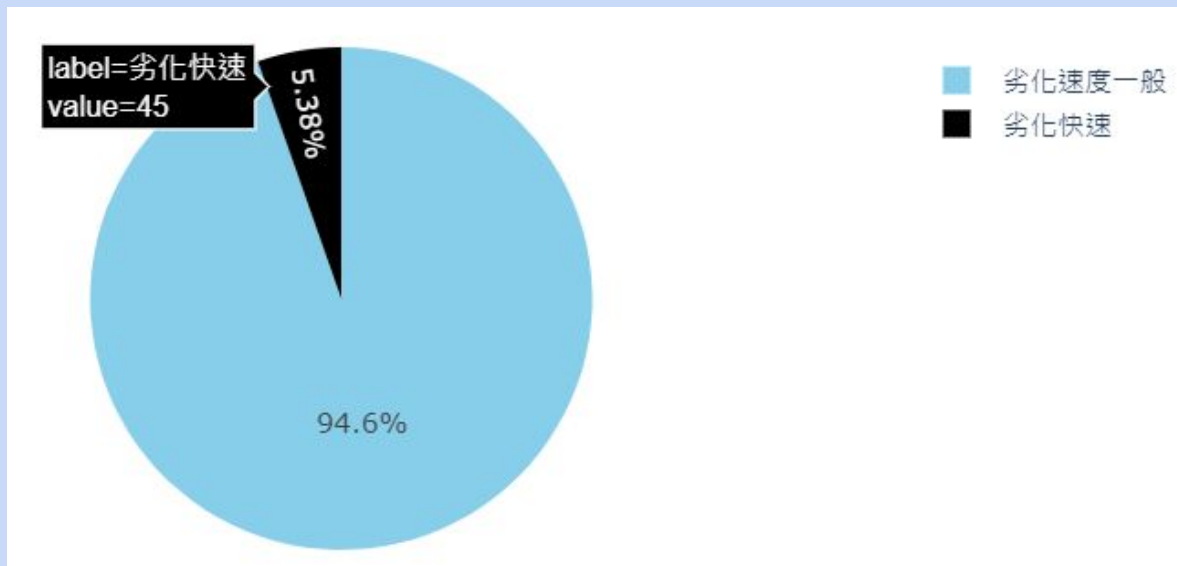
# 04

## 重要特徵分析 與模型預測

貼標籤

### 定義"快速劣化"

- 劣化快速門檻 =  $\text{median}(U\_change\_ave) + 2\sigma(U\_change\_ave)$
- 我們建立這個模型來幫助北分局分類可能需要更定期檢測的橋樑
- 貼標後資料分布極度不均



- 所以, 我們使用 SMOTE 來平均兩個標籤的數量

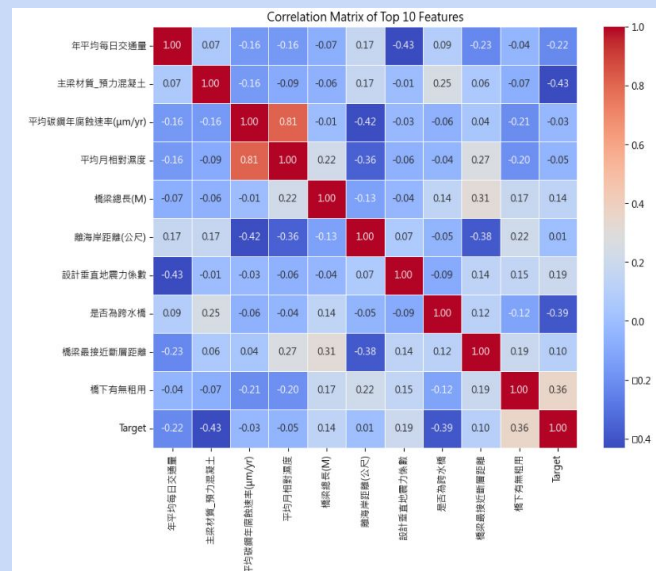
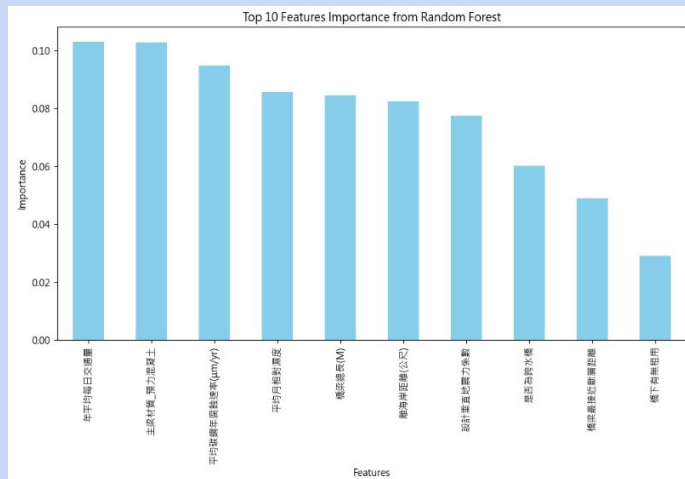
# Random Forest + 相關性分析

## 04

### 重要特徵分析 與模型預測

#### Feature Selection

- 使用 Random Forest 選出最重要的 10 個變數
- 並刪掉相關性較高 (coef. = 0.81) 的平均碳鋼年腐蝕速率( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )  
⇒ 因為該資料直接受相對濕度影響
- 所以剩下 9 個 Feature



# 04

## 重要特徵分析 與模型預測

訓練模型與預測結果

### 訓練模型



### 預測結果

Model	Recall*0.5	Accuracy*0.5	加權後分數
Logistic Regression	0.75	0.809524	0.779
<b>Random Forest</b>	<b>0.875</b>	<b>0.880952</b>	<b>0.878</b>
XGBoost	0.75	0.863095	0.807
SVM	0.625	0.803571	0.714
LSTM	0.75	0.5298	0.64



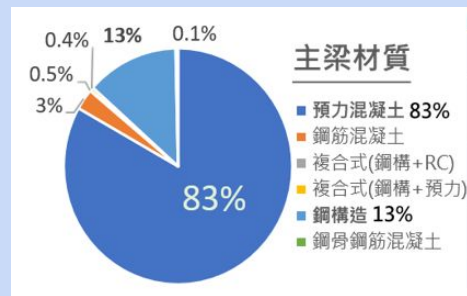
在介面設計的「模型預測」，透過加權後分數投票

因為橋梁檢修是安全性問題，所以我們認為減少漏判的 recall 是相對重要的

# 05

## 結論

- 訪問時, 專業人士覺得的重要因子
  - 平均年降雨量(東北季風、北部)
  - **年平均日交通量**(越大越容易劣化)
  - **主樑材質\_鋼筋混凝土**(比較容易劣化)
- 我們研究後, 橋梁劣化重要因子
  - 橋下有無租用
  - 設計垂直地震力係數
  - **年平均日交通量**
  - 月均溫度
  - 平均總日照時數
  - **主樑材質\_鋼筋混凝土**



- Random Forest 在預測方面無論是 recall 或 accuracy 的分數皆較高
  - 預測結果 VS 重點監控橋梁
    - 圓山橋 1 票
    - 五楊高架北上 0 票
    - 五楊高架南下 0 票
    - 南崁溪橋 0 票
- ⇒ 重點橋梁, 專業人士判斷(domain knowledge) 的依據並不涵蓋在我們資料內

# 06

## 討論

- 橋梁 U 值沒修理但卻突然變好，猜測因為不同廠商檢測的標準有所不同。
- U 的權重使用目前已不被採納的權重，不過我們認為相對於直接對所有構件平均，加權平均應該更有說服力。
- 如果使用全台橋梁的數據，或許可以有更準確的預測結果。

# 介面設計

## 橋梁劣化速度分析與預測

模型預測

重要因子分析

各橋梁資料

資料視覺化

### 預測橋梁是否可能有快速劣化之風險

年平均每日交通量預估

100 100 150000 1000

橋梁總長(公尺)

5 5

離海岸距離(公尺)

100 100 30000 60000

橋梁最接近斷層距離(公尺)

100 0

設計垂直地震力係數

0.01 0.01 0.50

是否為跨水橋

主梁材質為預力混凝土

橋下有無租用

橋梁所在地

基隆

Press to Predict

註：我們依據三種模型投票進行分類，每個模型各擁有一票，若票數>=2票則可能為快速劣化橋梁

Random Forest

XGBoost

Logistic Regression

1

0

1

預測結果：可能為快速劣化之橋梁

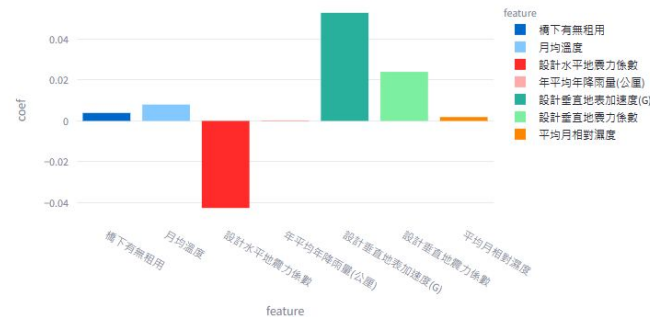
## 影響橋梁劣化速度重要因子分析

請注意：我們使用的依變數(y)為每月平均劣化速度

請滑動以選擇想要看的前幾名重要變數



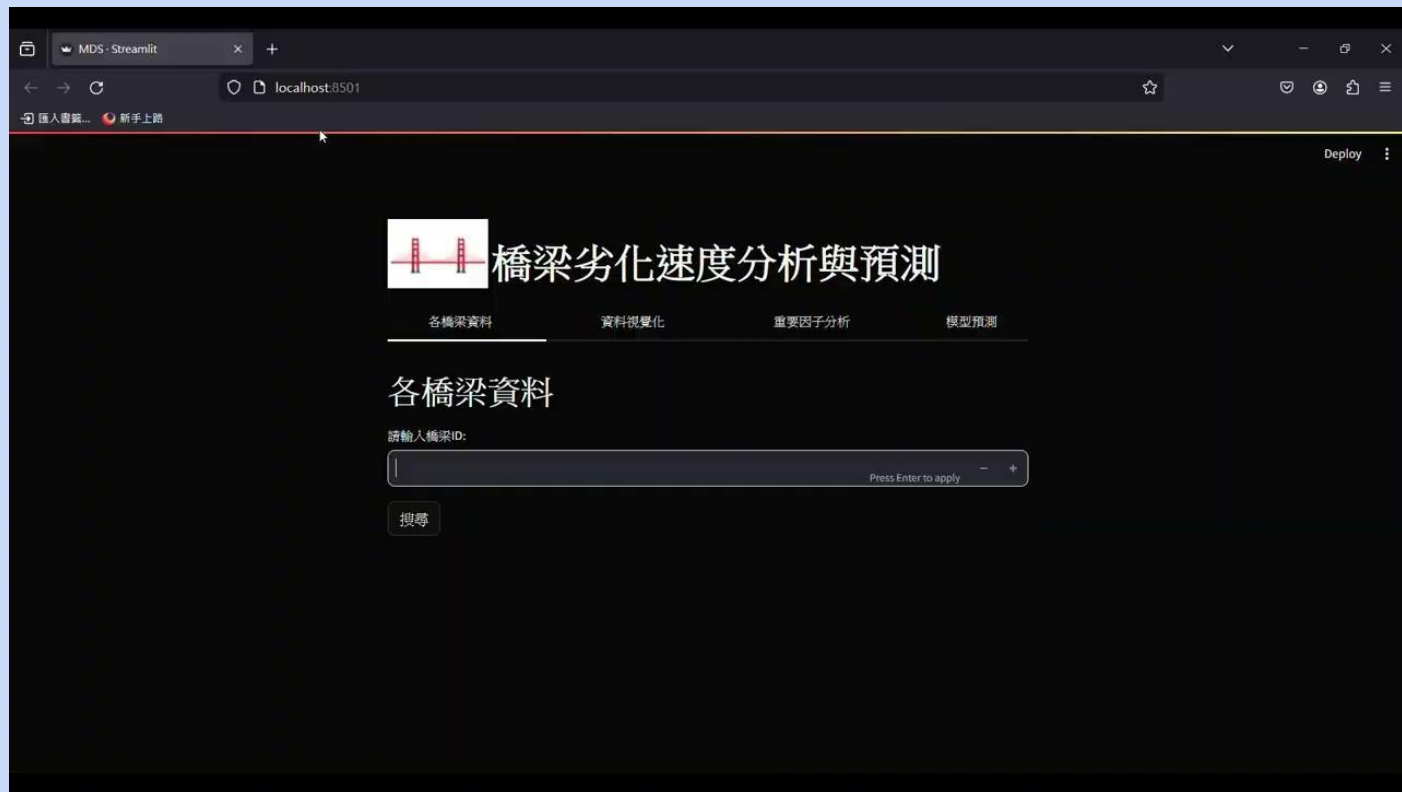
### Top Features from OLS



### Top Features from Random Forest



# 介面設計





# 橋橋看，謝謝大家

臺灣北區橋樑劣化程度因子分析與劣化速度之預測

# 重要特徵分析與模型預測 架構

1. 分析影響橋梁劣化速度的重要因子講解分析結果與insight
2. 貼標( $\text{median}(U\_change\_ave) + 2\sigma(U\_change\_ave)$ )
3. 資料集切分
4. SMOTE + Feature selection
5. 模型訓練與預測

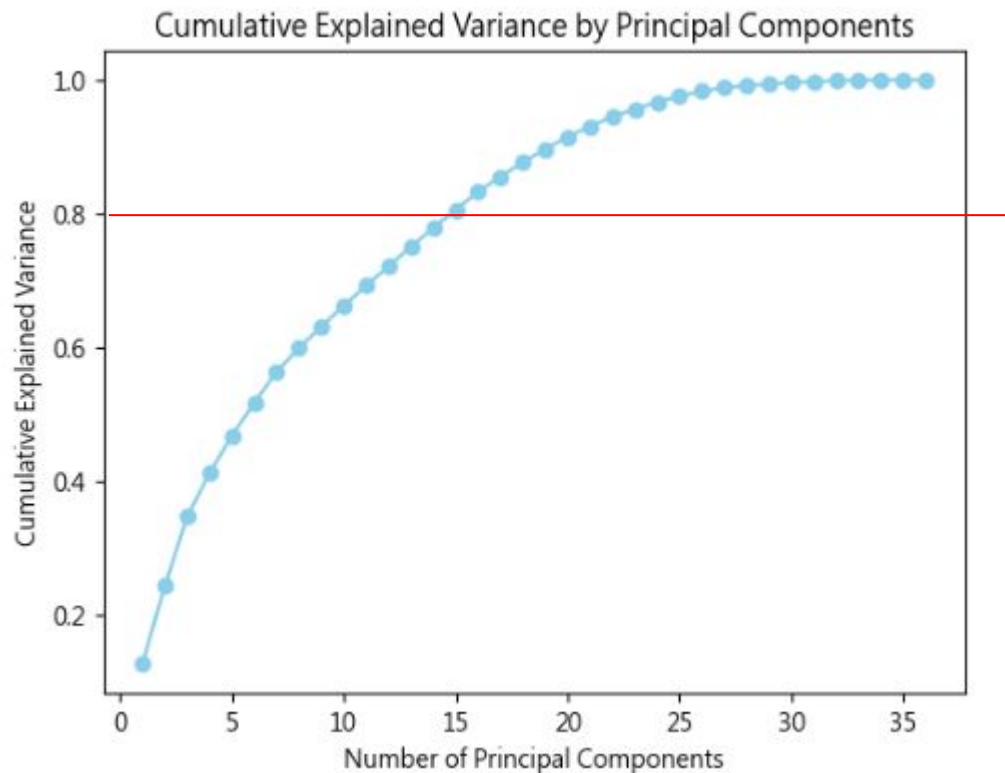
## Important features from OLS *set $p$ -value* $< 0.05$

const	
OLS Regr	
Dep. Variable:	U_chang
Model:	
Method:	Least Sq
Date:	Wed, 13 Dec
Time:	23
No. Observations:	
Df Residuals:	
Df Model:	
是否屬監控橋梁 離海岸距離(公尺) 年平均年降雨量(公厘) 橋梁最接近斷層距離 主梁材質_預力混凝土 主梁材質_預力混凝土, 鋼筋混凝土 主梁材質_預力混凝土, 鋼構+預力混凝土 主梁材質_預力混凝土, 鋼構 主梁材質_預力混凝土, 鋼構, 鋼筋混凝土 主梁材質_鋼骨鋼筋混凝土 主梁材質_鋼筋混凝土 主梁材質_鋼構 設計震度 設計活載重 設計水平地表加速度(G) 設計垂直地表加速度(G) 最大考量地表加速度 設計水平地震力係數 設計垂直地震力係數	

# Data Visualization

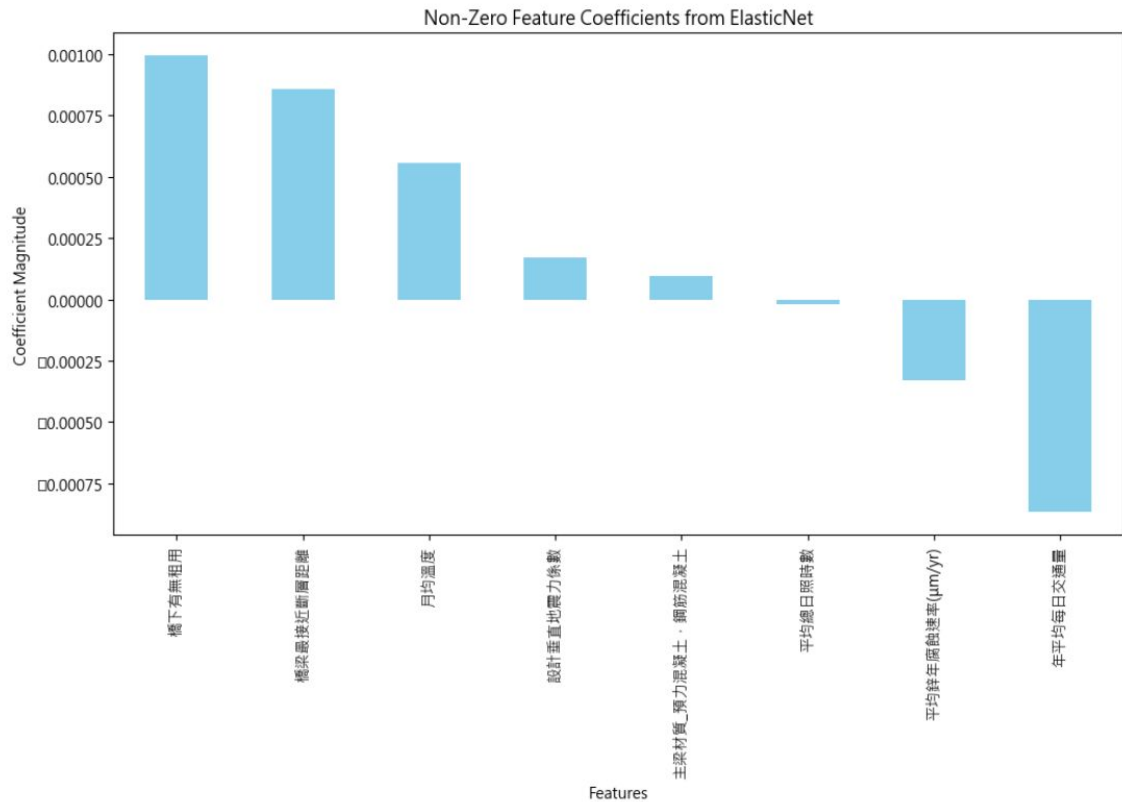
14 Features can explain 80% of the variance using PCA

月均溫度', '平均月相對濕度', '平均總日照時數', '平均鋅年腐蝕速率', '平均碳鋼年腐蝕速率', '年平均每日交通量', '是否為跨水橋', '土壤液化潛勢', '橋梁總長(M)', '最大淨寬', '最小淨寬', '總車道數', '主線車道數', '橋下有無租用'



# 重要因子分析

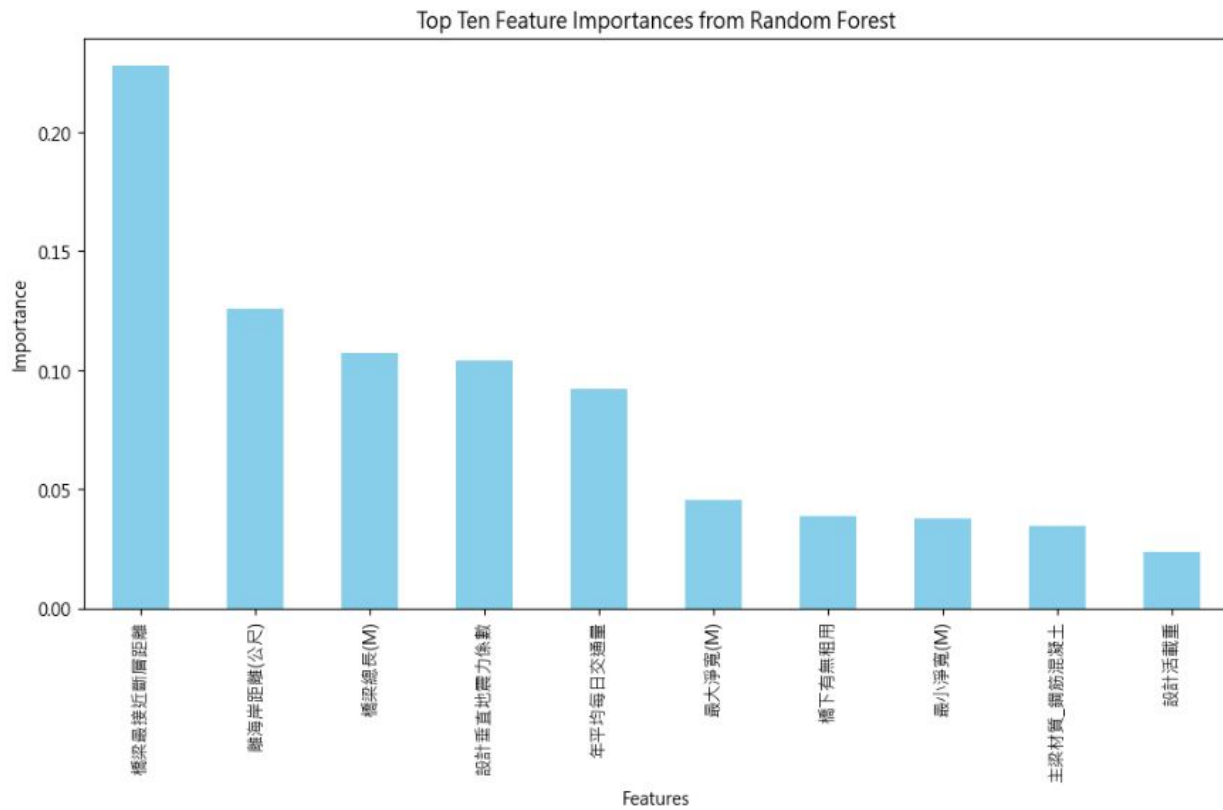
Important features from Elastic Net





# 重要因子分析

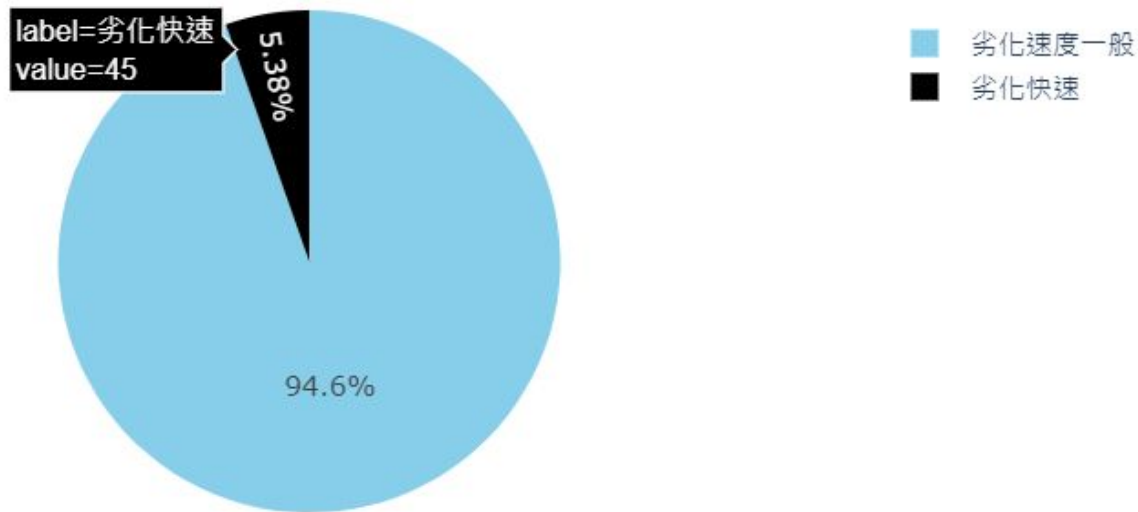
## Top 10 Important features from Random Forest



# Model Training and Prediction - Labeling

劣化快速 =  $\text{median}(U\_change\_ave) + 2\sigma(U\_change\_ave)$

我們建立這個模型來幫助公路局分類可能需要更定期去檢測的橋樑

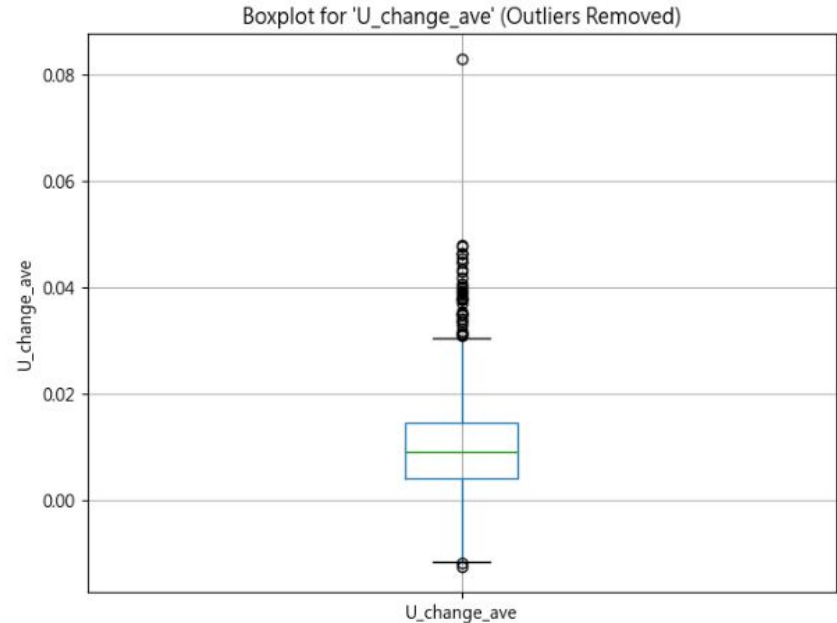
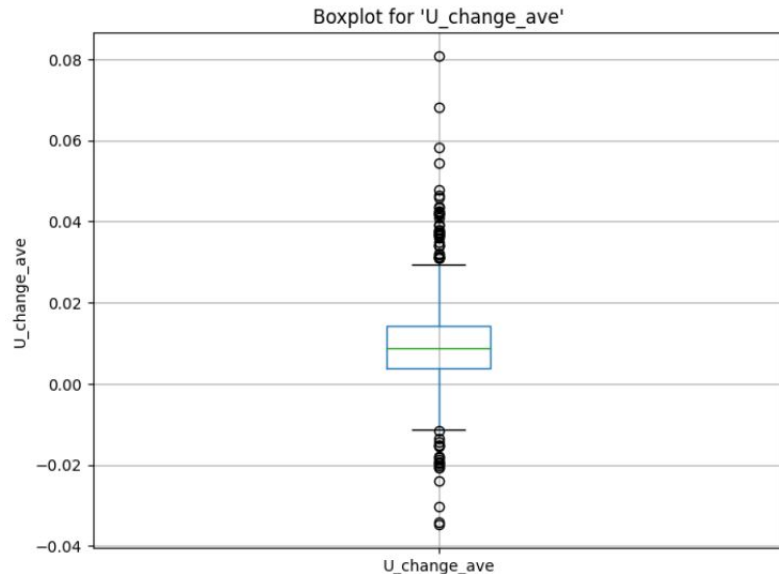


由於劣化快速的label較稀少，我們使用SMOTE來平均兩個標籤的數量

# EDA - Dependant Variable

We use  $IQR \times 1.5$  to drop the lower bound outliers, since deterioration may differ by different inspection standards and declining deterioration is merely possible.

n\_row: 856 -> 836

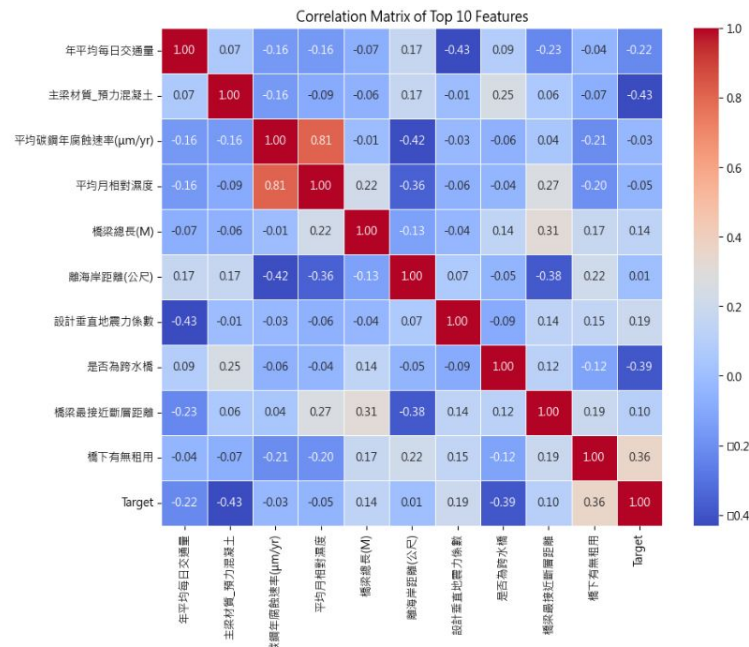
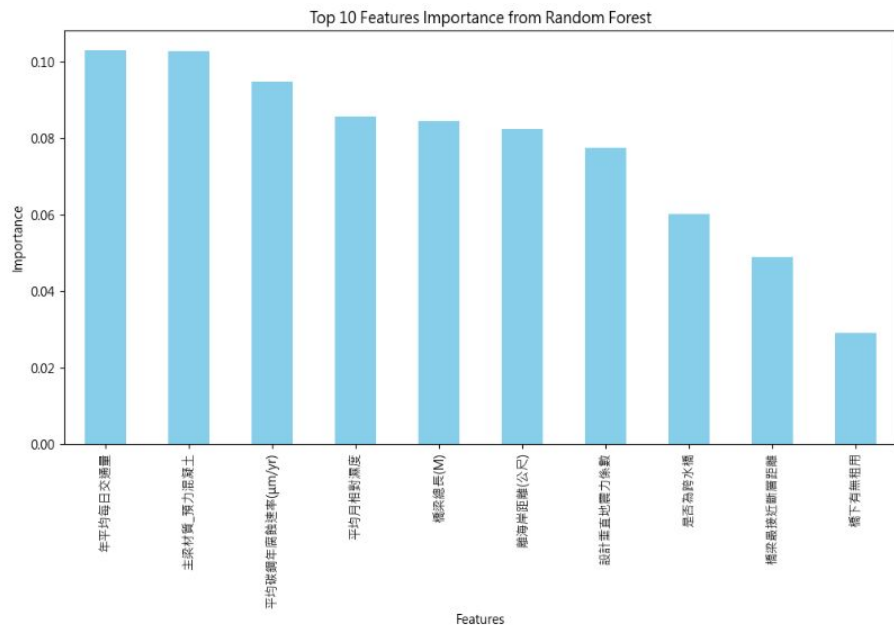


# Model Training and Prediction - Feature selection

Random Forest + Correlation analysis

使用RF選出最重要的十個變數並刪掉相關性較高的平均碳鋼年腐蝕速率( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )->因該資料直接受濕度影響

64% Training  
16% Validation  
20% Testing



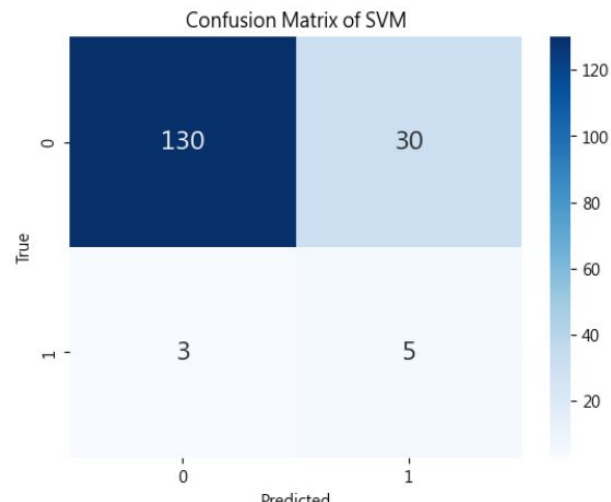
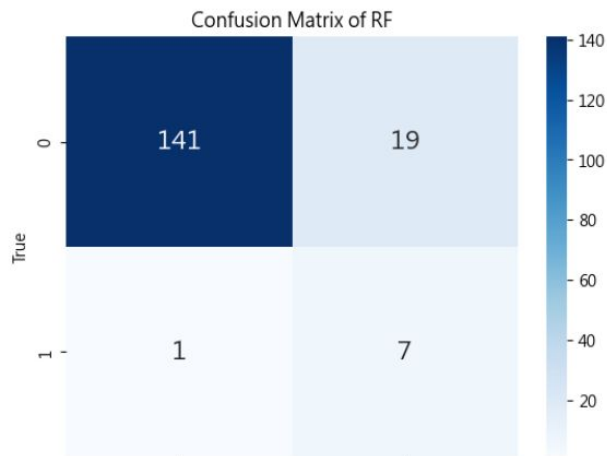
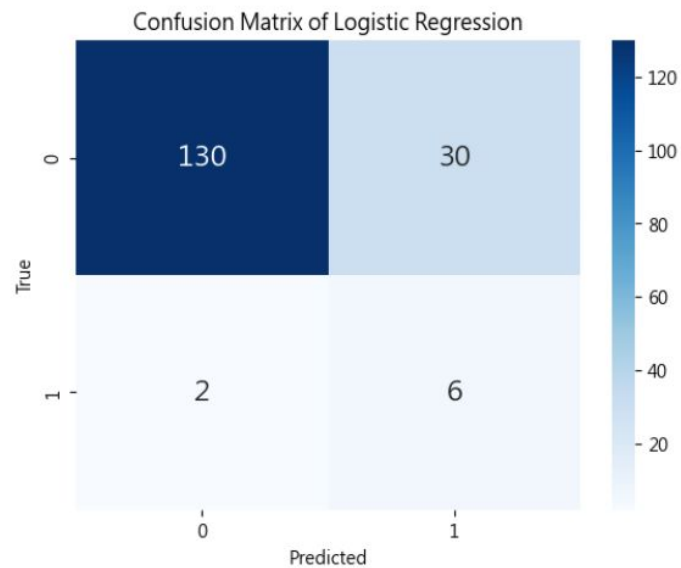
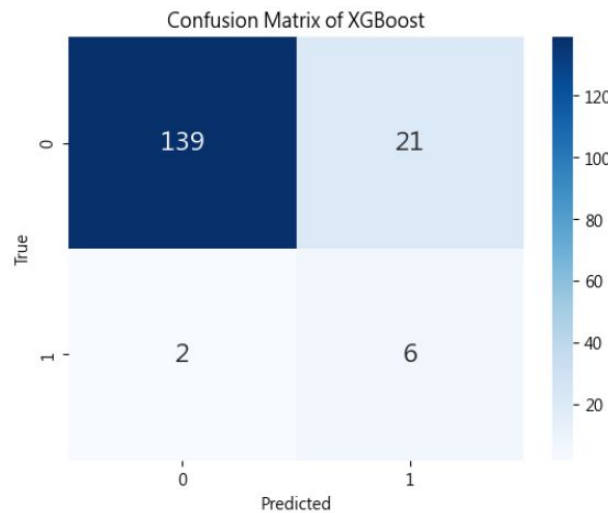
# Model Training and Prediction

Using 9 features from feature selection

64% Training  
16% Validation

20% Testing

Model	Recall*0.5	Accuracy*0.5	加權
Logistic Regression	0.75	0.809524	
Random Forest	0.875	0.880952	
XGBoost	0.75	0.863095	
SVM	0.625	0.803571	
LSTM	0.75	0.5298	



True label



# 介面設計:

輸入九個變數並用XGBoost來預測結果(奕霆)

透過下拉式選單查詢各個橋樑的基本資料以及劣化程度

-> 可以加當日氣溫、平均濕度？

-> 連到高速公路 1968 的流量監測去看交通？

即時透過迴歸分析、RF、Elastic Net 輸出重要變數的圖表，以供公路局的員工檢視造成強梁劣化之原因

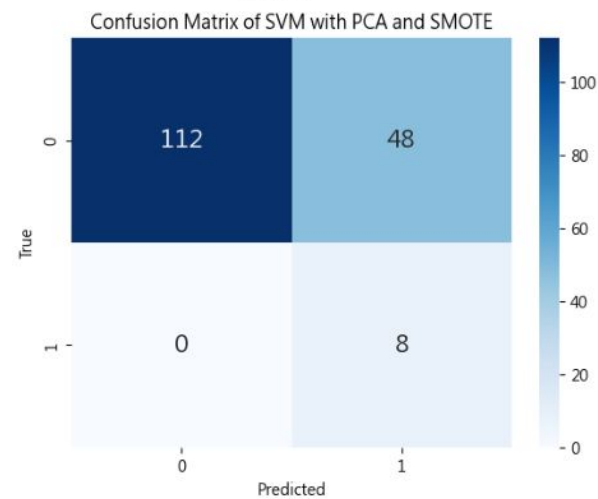
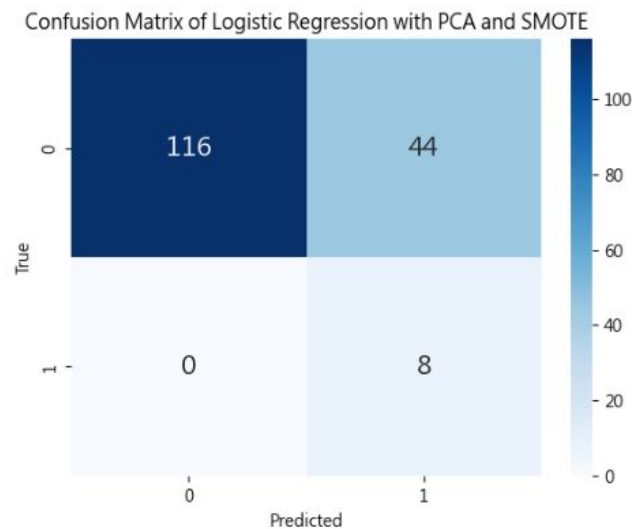
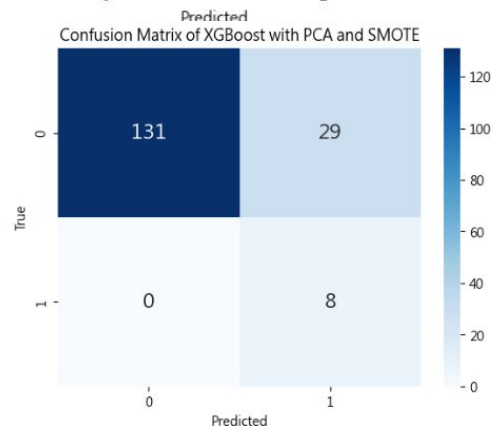
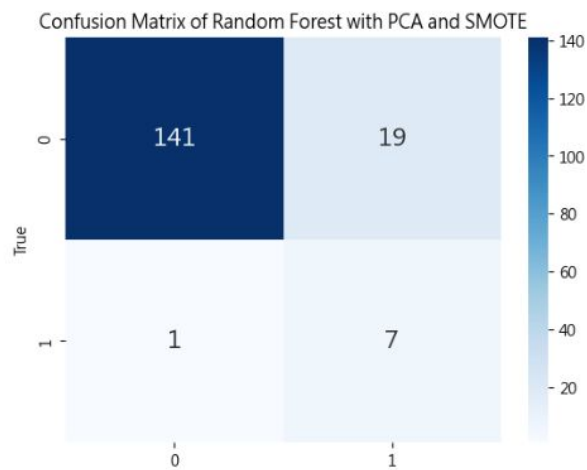
# Model Tranining and Prediction

Using 14 features from PCA

which is better

'月均溫度', '平均月相對濕度', '平均總日照時數', '平均鋅年腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )', '平均碳鋼年腐蝕速率 ( $\mu\text{m}/\text{yr}$ )', '年平均每日交通量', '是否為跨水橋', '土壤液化潛勢 (1~3)', '橋梁總長 (M)', '最大淨寬 (M)', '最小淨寬 (M)', '總車道數', '主線車道數', '橋下有無租用'

Model	Recall*0.5		Accuracy*0.5				加權
Logistic Regression	Logistic Regression with		Recall	Precision	F1 Score	Accuracy	
	0	SMOTE Oversampling	0.875	0.092105	0.166667	0.583333	
Random Forest	Random Forest with		Recall	Precision	F1 Score	Accuracy	
	0	SMOTE Oversampling	0.875	0.122807	0.215385	0.696429	
XGBoost	Method		Recall	Precision	F1 Score	Accuracy	
	0	XGBoost with PCA and SMOTE	1.0	0.216216	0.355556	0.827381	
SVM	Method		Recall	Precision	F1 Score	Accuracy	
	0	SVM with PCA and SMOTE	1.0	0.142857	0.25	0.714286	
LSTM	0.7500		0.5298				



# Feature selection

1. Using OLS to select the features that have p-value lower than 0.05.
2. Use correlation analysis to drop the highly correlated features

To avoid the multi-collinearity we conducted correlation analysis on correlated features (>80%) with lower p-value.

We dropped 年平均降雨量

