

아스팔트 鋪裝의 疲勞壽命豫測에 관한 研究

A Study on the Estimation of Fatigue Life for Asphalt Pavement

徐 採 演*
Seo, Chae Yeon

Abstract

The fatigue failure envelopes for the prediction of the fatigue life of asphalt pavements were obtained from the results of laboratory fatigue test for asphalt mixture.

The envelopes did not depend on the experimental temperature and the number of loading, and varied with the types of asphalts. In the case of dense graded asphalt concrete, the envelopes formed a single curve regardless of the penetration of the asphalt.

On the other hand, the method for the fatigue life prediction was presented based on the envelopes obtained and the triple layered elastic theory developed by Burmister.

要 旨

아스팔트混合物에 대한 室內疲勞試驗結果로부터 아스팔트鋪裝의 壽命豫測을 위한 疲勞破壞包絡線을 求하였다.

疲勞破壞包絡線은 試驗溫度나 載荷速度에 거의 依存하지 않았으며, 아스팔트의 形狀에 따라 크게 變하였다. 密粒度아스팔트 콘크리트의 경우 疲勞破壞包絡線은 아스팔트의 針入度에 關係 없이 거의 한 개의 曲線群을 이루었다. 아울러 얻어진 疲勞破壞包絡線과 Burmister의 3層 彈性理論에 의한 實際鋪裝의 疲勞壽命豫測法을 提示하였다.

1. 序 論

아스팔트 鋪裝의 構造設計에 있어서는 應力이나 變形率을 基準으로 하는 傾向이 있으며 이들의 基準値는 疲勞試驗에서도 approach 되어야 한다. 이와 같은 것으로부터 本 研究은 아스팔트 鋪裝의 疲勞破壞에 대해서 檢討를 加하려는 것이다.

英國의 Pell 과 Taylor(1969)⁽⁷⁾ 및 美國의 Epps 와 Monismith(1969)^(6,14)는 아스팔트 混合物의 疲勞壽命에 影響을 주는 것은 試料의 stiffness와 아스팔트膜의 두께와 空隙率이라고 하는 一致된 結論에 到達했다. 또 疲勞試驗結果를 考慮에 넣

은 鋪裝設計法도 몇개 提案되어 있으며 아스팔트 混合物層 底面에 생기는 應力과 變形率中 應力만을 考慮하는 蘇聯의 Krivissky⁽¹⁾의 것이 있으며 變形率만을 考慮하는 것으로서 Dormon and Metcalf(1964), Brown and Pell(1972)^(7,15), Huang(1972)⁽²⁾, Witczak(1973)⁽¹²⁾ 등의 研究가 있다. 또한 變形率과 아스팔트 混合物의 stiffness의 兩쪽을 考慮하는 것으로서 Shell 石油研究所^(6,10)가 發表한 것(1979)이 있다.

아스팔트 混合物의 疲勞破壞는 stiffness가 支配的인 要因이 되기 때문에 疲勞의 破壞基準을 생각할 경우 引張應力과 引張變形率中의 어느 한 쪽만을 考慮하는 것은 適切하지 않다. 이런 것으로부터 Shell 石油研究所가 發表한 것은 引張

*正會員 · 全南大學校 工科大學 土木工學科 教授

變形率과 아스팔트 혼합물의 stiffness 의 兩쪽을 考慮하고 있어 彈性理論의 立場에서 보면 室內疲勞試驗結果를 構造設計에 反映하고 있는 唯一한 것이 된다.

本 研究에서는 鋪裝의 龜裂破壞를 아스팔트層 下面의 引張應力, 引張變形率⁽¹¹⁾의 兩面에서 考察한 疲勞破壞包絡線을 基準으로 하고 있다. 室內疲勞試驗結果를 아스팔트鋪裝의 壽命豫測에 應用하기 위하여 壽命에 龜裂生長時間을 包含한 變形率制御試驗을 했으며 또한 疲勞破壞點을 容易하게 定義할 수 있도록 載荷直後의 初期應力, 初期變形率이 아닌 破壞時의 應力, 破壞時의 變形率을 利用했으며 또한 아스팔트層 下面의 引張應力과 引張變形率을 求할 때에는 Burmister의 層理論⁽⁹⁾을 利用한다.

2. 疲勞試驗

2-1. 試驗材料

使用材料는 粗立度 아스팔트 콘크리트(Pen; 60~80)와 針入度級이 다른 아스팔트(Pen; 20~40, Pen; 60~80, Pen; 150~200)를 使用한 3種의 密粒度 아스팔트콘크리트이다.

使用骨材의 比重 및 아스팔트의 性質, 骨材의 粒度分布曲線, 各使用材料의 骨材配合比, 各混合物의 平均密度, 平均空隙率, sand filler, 아스팔트의 骨材配合比, 粒度分布曲線의 그림 및 表는 紙面關係上 省略했다. 最適 아스팔트量은 馬沙安定度試驗(Marshall stability test)에 依해서 密粒度아스팔트콘크리트 5%, sand filler 아스팔트아스팔트 7%, filler 아스팔트⁽²⁴⁾ 12% 로 했다. 密立도 아스팔트콘크리트의 경우, 馬沙安定度試驗의 結果 安定度, 密度, 空隙率, 飽和度를 만족하는 最適아스팔트含量은 5.9% 였다.

2-2. 供試體의 製作方法

供試體의 製作方法은 約 150°로 加熱한 骨材를 計量해서 約 140~150°C로 加熱溶解되어진 아스팔트와 같이 믹서로 約 1分間 混合한다. 이것을 30×30×5 cm의 거푸집에 넣어 roller compactor로 轉壓했다. 轉壓의 線荷重은 36.6 kg/cm이다. 다져진 試料는 1日 放置한 後 脫型해서 6×6×27의 치수를 diamond cutter로 切斷했다. 使用한 供試體의 密度는 最適 아스팔트量

일때의 實測密度로서 密粒度아스팔트일 경우, 2,360 g/cm³(Pen; 20~40), 2,397 g/cm³(Pen; 60~80), 2,396 g/cm³(Pen;150~200)이고 粗密度 아스팔트일 경우 2,358 g/cm³(Pen; 60~80)을 基準으로해서 ±1.0%로 管理했다.

2-3. 試驗方法

1) 試驗方法 및 測定方法

試驗裝置는 反復굽힘試驗이 可能한 電氣油壓 servo pulsar이다. 또 試驗溫度의 調整은 冷凍機가 달린 恒溫試驗裝置를 使用했다. 本 研究의 疲勞試驗은 2點 支持된 4×4×30(密粒度), 6×6×27(粗粒度)의 供試體의 中央에 正弦的 強制 兩張變位를 주게 되는 것이다. 試驗中에는 試料 中央의 처짐振幅을 일정하게 維持하였다. 本 試驗의 試驗周波數는 5 Hz, 試驗溫度는 0~20°C이며 이와 같은 條件(표 1)의 範圍에서는 供試體는 彈性的 거동을 한다고 생각해도 支障이 없다. 따라서 本 試驗은 變形率制御의 疲勞試驗이라고 할 수 있다.

표 1. Test Conditions (Frequency: 5Hz)

kinds of mixture	penetration	temp. (°C)	strain (×10 ⁻³)				
			0.35	0.4	0.5	0.75	1.0
dense graded asphalt concrete	20~40	0		○	○	○	
		10			○	○	○
		20			○	○	○
	60~80	0		○	○	○	
		10			○	○	○
		20			○	○	○
	150~200	0			○	○	○
		10			○	○	○
		15			○	○	○
coarse graded asphalt concrete	60~80	0	○		○	○	
		10			○	○	○
		20			○	○	○

兩端의 支持部分을 hinge로 보고 端部에 굽힘 모멘트가 일어나지 않도록 努力했다. span은 16 cm, 24 cm이다. 아스팔트 混合物은 粘彈性體이기 때문에 反復試驗中에 試料兩端의 支持部 및 中央의 載荷部에 永久變形이 일어나 支持 head

및 載荷 head와 試料의 사이에 微小한 間隙이 생긴다. 이 間隙이 생김으로써 braun管 oscilloscope로 觀測하고 있는 荷重과 變位の 出力波形이 흐트러짐으로 이와 같은 狀態가 되면 出力波形이 正常的으로 움직이도록 하기 위해 各 head를 조아메야 하는데 이 때 너무 세게 조아메게 되면 그 部分에서 供試體가 剪斷破壞를 일으키기 때문에 適當히 조아낸다. 또 壓密을 減少시키는 뜻에서 載荷面 및 支持面에 30×40 mm의 銅板을 붙인다. 또 beam의 共振에 대해서는 過去의 研究⁽⁷⁾에서 問題가 없는 것으로 알고 있으며 載荷臺가 움직이지 않도록 무게를 매달았다. 試驗中에 測定하는 것은 供試體 中央部の 載荷荷重과 變位量이다. 荷重은 試驗機에 備置된 load cell에 依해서 測定하고 變位量은 試驗機에 內藏되어 있는 差動트란스 및 dial gauge로 測定했다.

2) 試驗條件

- ① 載荷方法: 兩端單純支持의 中央 1點 載荷
- ② 供試體值數: 4×4×30 cm(密粒度 아스팔트 콘크리트)
6×6×27 cm(粗粒度 아스팔트 콘크리트(span: 16 cm, 24 cm))
- ③ 制御方法: 正弦波에 依한 兩振變形率制御
- ④ 試驗溫度, 周波數: 0.10, 20°C, 5 Hz

3) 檢 討

아스팔트 混合物의 引張強度는 壓縮強度에 比해서 極히 적으므로 壓縮時를 無時해도 큰 問題는 일어나지 않는다고 생각되어 兩振의 경우의 壓縮時를 無視하면 아스팔트 混合物의 疲勞⁽¹⁹⁾를 論해도 좋다.

또 連續해서 變形率을 주고있으나 實際의 道路의 交通荷重은 不連續이다. 休止時間의 影響은 Raithby⁽¹⁸⁾에 依해서도 研究되고 있으나, 實際의 道路⁽²³⁾와 같은 休止時間을 갖는 것은 機械의 或은 時間의 或은 不可能하지만 本試驗은 어디까지나 室內材料試驗⁽¹⁷⁾이며 그의 結果를 實際의 條件에서의 아스팔트 混合物의 疲勞破壞特性和 關聯짓는 것도 意義가 있을 것이라 생각된다.

2-4. Data 處理

1) 解析法

아스팔트 混合物은 粘彈性物質인데 이 試驗은 처짐 反復兩振試驗으로서 試驗中에는 彈性體로서 假定하고 beam의 彈性理論에 依해서 처짐量을 變形率量으로 修正해서 變形率試驗이라고 했다. beam의 彈性理論⁽⁹⁾에서는 beam의 中央에 荷重 P가 作用했을 때의 中央에서의 처짐量 Y는 다음과 같다.

$$Y = \frac{1}{48} \frac{Pl^3}{EI} \dots\dots\dots(1)$$

또 beam에 굽힘이 걸렸을 때 beam의 下面에 일어나는 變形率은 다음과 같이 된다.

$$\epsilon = \frac{(\rho + \frac{h}{2})\theta - \rho\theta}{\rho\theta} = \frac{h}{2\rho} \dots\dots\dots(2)$$

또 beam의 中心에 있어서는

$$M = \frac{1}{\rho} EI = \frac{2\epsilon}{h} EI = \frac{1}{4} Pl \dots\dots\dots(3)$$

(3)식으로부터

$$EI = \frac{Plh}{8\epsilon} \dots\dots\dots(4)$$

(4)식을 (1)식에 代入함으로써

$$\epsilon = \frac{6Yh}{l^2} \dots\dots\dots(5)$$

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot \frac{h}{2} = \frac{3Pl}{2bh^2} \dots\dots\dots(6)$$

b: 供試體의 幅(cm)

h: 供試體의 높이(cm)

l: span(cm)

P: 荷重(kg)

Y: 供試體中央部の 처짐量(m)

試驗中の 測定은 荷重과 變位量이다.

荷重, 變位量은 둘다 braun管 oscilloscope에서 읽은 값을 식(5), (6)에 依해서 求했다.

2) 破壞點의 定義

本 研究가 試圖한 變形率制御 疲勞試驗機는 2點支持 1點 載荷型의 beam 굽힘 疲勞試驗機이며 本 試驗機에서는 供試體에 주어지는 變形率로부터 식(5)에 의해서 처짐量을 求해 처짐 制御를 했다.

또 測定한 荷重은 식(6)에 依해서 引張應力으로 換算했다. 振幅一定의 反復變形率을 주게되면 應力은 載荷횟수를 增加해 감에 따라 느슨하게 減少하며 어느 點에서 急激하게 低下한다. 이 裝置는 그림 1과 같이 破壞點이 明確히 判別

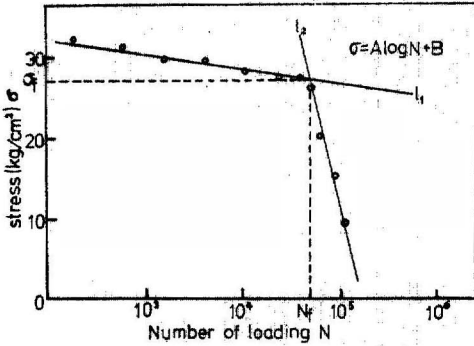


그림 1. Relationship between stress and number of loading

되는 것이 큰 特徵이다.

그림 1에 있어서의 直線 l_1, l_2 를 最小自乘法⁽²⁵⁾에 依해서 求하고 이들 2直線의 交點을 破壞點이라고 했다. 應力에 흐트러짐이 생긴 것은 載荷面이 느슨해 지기 때문이다. 2直線 l_1, l_2 의 交點에 있어서의 載荷回數를 破壞回數 N_f , 이때의 應力을 破壞時의 應力 σ_f 라고 한다.

破壞時의 變形率은 初期變形率 ϵ_0 와 같으며 이것을 ϵ_f 로 나타낸다.

3. 疲勞破壞包絡線 概念의 導入

3-1. 破壞回數 · 破壞變形率과 破壞回數 · 破壞應力의 關係

實驗에서 얻어진 破壞回數(N_f)와 破壞變形率(ϵ_f), 破壞應力(σ_f)의 關係를 求하면 그림 2-1, 그림 2-2와 같이 된다. 이것은 어느 材料에 對해서나 $\log \epsilon_f$ 와 $\log N_f$, $\log \sigma_f$ 와 $\log N_f$ 의 關係는 다같이 直線關係에 있는 것을 알 수 있다. 그 그래프의 直線은 最小自乘法에 依해서 求해진 것이다. 兩者의 直線을 式으로 나타내면 다음과 같다.

$$\log \epsilon_f = A_1 + B_1 \log N_f$$

$$\log \sigma_f = A_2 + B_2 \log N_f$$

그라프로부터 어느 材料에 대해서나 다음과 같이 말할 수 있다.

1. 溫度를 變化시켜도 直線은 거의 平行을 維持한다.
2. 같은 壽命에 대해서 溫度가 높을수록 破壞變形率은 크고, 破壞應力은 적다.
3. 周波數를 적게 하는 것은 溫度를 높이는 것에 對應하고 있다.

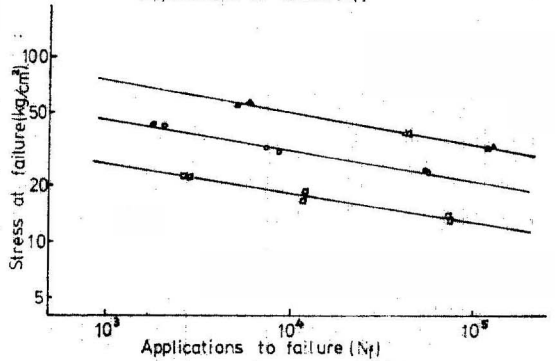
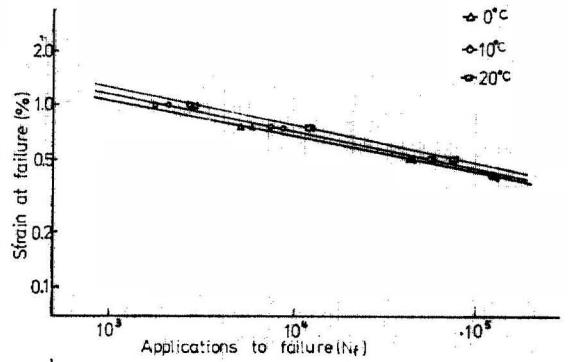


그림 2-1. Dense graded asphalt concrete (pen; 60~80)

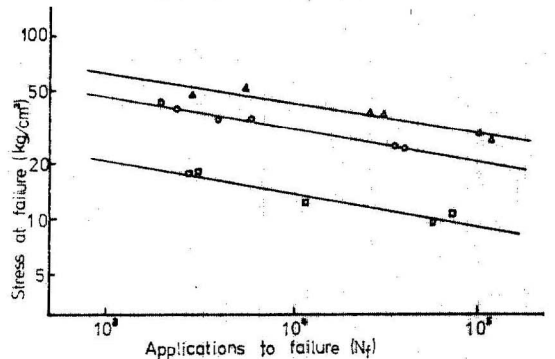
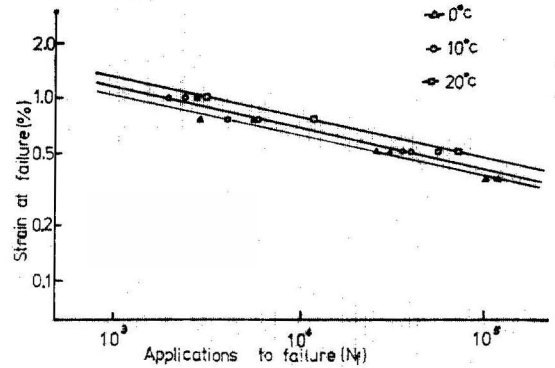


그림 2-2. Coarse graded asphalt concrete (pen; 60~80)

3-2. 疲勞破壞包絡線

아스팔트 혼합물의 破壞特性은 破壞包絡線 理論^(14,18)에 따른다. 이것은 아스팔트 혼합물의 破壞時의 應力 σ_f , 變形率 ϵ_f 에는 溫度, 時間에 依하지 않고 一意的인 關係가 있다고 한다. 設定變形率, 試驗溫度, 試驗周波數를 여러 가지로 變化시켜서 $\log \epsilon_f$ 와 $\log N_f$ 및 $\log \sigma_f$ 와 $\log N_f$ 의 關係를 plot 하면 그림 2와 같이 나타났는데 그림 2의 結果를 利用해서 같은 壽命이 있는 곳의 σ_f 와 ϵ_f 를 求하게 되면 縱軸을 $\log \sigma_f$, 橫軸을 $\log \epsilon_f$, parameter 를 N_f 라고 했을 때 그림 3, 4와 같은 曲線群이 그려진다. 이 그림을 利用하면 試驗條件을 意識하지 않고 試料에 일어나고 있는 應力과 變形率에 依해서 그의 混合물의 疲勞壽命이 求해진다.

이것은 應力과 變形率의 pair로 나타낸 破壞 限界點의 集合을 表現하는 것이다. 따라서 이 曲線群을 疲勞破壞包絡線(fatigue failure envelope)이라고 말한다.

그림 3은 3種의 混合物 即 Pen: 60~80의 아스팔트를 使用한 密粒度아스팔트콘크리트, 粗粒度아스팔트콘크리트, sand filler에 對한 疲勞 破壞包絡線이다.

또 그림 4는 3種의 密粒度아스팔트콘크리트 即 Pen: 20~40, Pen: 60~80, Pen: 150~200의 아스팔트에 對한 疲勞破壞包絡線을 나타낸 것이다. 이들 그림으로부터 다음과 같은 것을 알 수 있다.

- ① 아스팔트의 針入度級을 變化시켜도 混合物(密粒)의 配合가 같으면 疲勞破壞包絡線은 거의 같은 曲線群을 形成한다. 그러기 때문에 引張變形率과 引張應力이 같으면 針入度級의 大小에 關係없이 같은 程度의 疲勞壽命을 期待할 수 있다.
- ② sand filler와 같은 骨材粒徑이 적은 混合物일수록 疲勞破壞包絡線은 右側에 位置한다. 그러기 때문에 sand filler와 같은 混合物일수록 같은 破壞回數에 對한 許容變形率은 크게 되며 許容應力은 적게 된다.
- ③ 疲勞壽命은 引張應力보다도 引張變形率에 크게 左右된다. 아스팔트 混合物의 疲勞壽命은 stiffness와 破壞基準인 疲勞破壞包絡線에 依

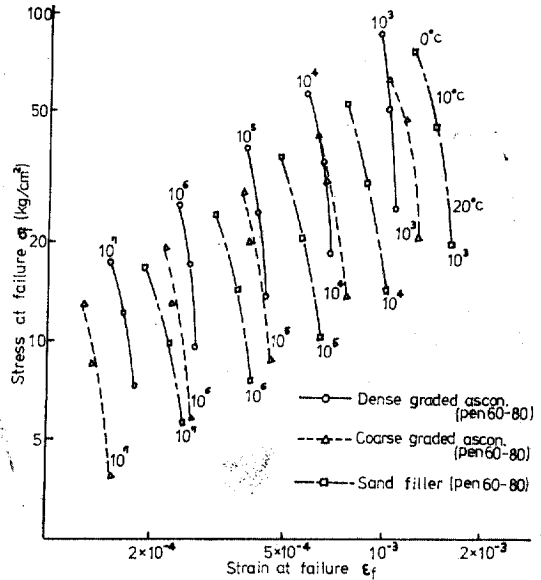


그림 3. Fatigue failure envelope of mixture at different types

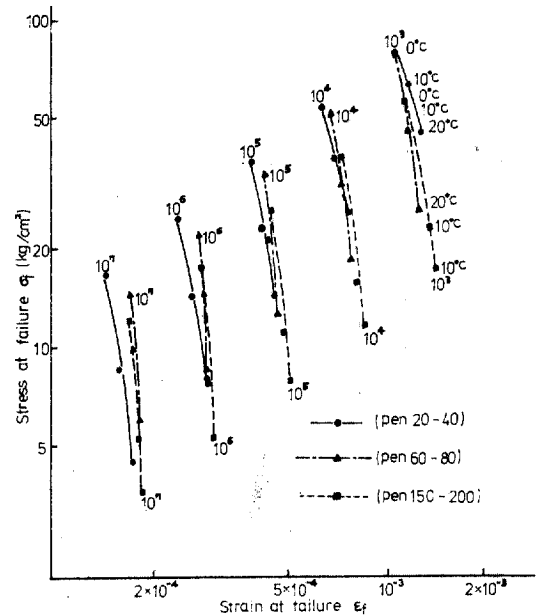


그림 4. Fatigue failure envelope of dense graded asphalt concrete at different penetrations.

해서 支配된다. 以上 記述한 바와 같이 疲勞破壞包絡線은 溫

度나 載荷時間에 依存하는 아스팔트 混合物의 疲勞壽命을 豫測하는 데에 意義있는 破壞基準이며 各混合物의 疲勞特性⁽¹⁸⁾을 比較 檢討하는 데에 有效한 手段이 된다.

4. 疲勞壽命 豫測시스템

4-1. Burmister의 層理論

아스팔트 混合物의 疲勞破壞回數는 아스팔트 層 下面의 引張應力과 引張變形率에 依해서 疲勞破壞包絡線으로부터 決定된다고 했다.

疲勞破壞包絡線으로부터 疲勞壽命을 豫測하는 데에는 實際의 鋪裝의 경우 表層, 基層에 利用되고 있는 아스팔트層 下面의 引張應力, 引張變形率과를 對應시켜 보아야 한다. 아스팔트 鋪裝은 層構造이므로 現在 層構造를 解析하는 데에는 彈性理論이 쓰여지고 있다.

鋪裝體를 彈性體로 보는 것은 問題가 많으나 實際의 荷重時間⁽⁸⁾이 極히 짧고 變位가 적은 것으로 미루어 보아 各材料가 彈性的으로 舉動한다고 假定하는 것은 妥當하다.

嚴密解가 얻어지는 彈性解析法으로서 Burmister의 層理論⁽⁹⁾이 있다. 이 理論은 半無限體의 應力을 求한 Boussinesq의 理論을 多層體에 適用한 것이다. 本 研究에서는 아스팔트層 下面의 引張應力과 引張變形率을 求할 때에 이 Burmister의 層理論을 利用한다.

解析을 함에 있어서 다음과 같은 假定을 해서 應力과 變位를 求하고 있다.

- ① 各層 各같이 等方, 等質인 彈性體이다.
- ② 各層 各같이 水平方向에서는 無限하다. 또 最下層만이 깊이 方向으로 無限하다.
- ③ 最上層의 表面에서는 圓形等分布荷重만이 作用하고 最下層의 無限깊이에 있어서는 應力, 變位 各같이 0이 된다.
- ④ 境界面이 거칠(粗)경과 隣接層間에 있어서는 剪斷應力, 鉛直應力, 水平變位, 鉛直變位가 같다.

또 그림 5에 나타난 3次元軸對稱 彈性論⁽⁹⁾의 一般解는 다음과 같다.

$$u = \int_0^{\infty} \{ (A_0\xi + B_01 + z\xi) e^{t\xi} - (C_0\xi - D_01 - z\xi) e^{-t\xi} \} \xi^2 J_1(\xi r) d\xi \quad (\text{水平變位})$$

$$w = \int_0^{\infty} \{ (A_0\xi - B_02(1-2r) - z\xi) e^{t\xi} + (C_0\xi + D_02(1-2r) + z\xi) e^{-t\xi} \} \xi^2 J_0(\xi r) d\xi \quad (\text{鉛直變位})$$

$$\sigma_z = 2\mu \int_0^{\infty} \{ (-A_0\xi + B_01 - 2r - z\xi) e^{t\xi} + (C_0\xi + D_0 + D_0 + \overline{D_0}1 - 2r + z\xi) e^{-t\xi} \} \xi^3 J_0(\xi r) d\xi \quad (\text{鉛直應力})$$

$$\tau_{rz} = 2\mu \int_0^{\infty} \{ (A_0\xi + B_02r + z\xi) e^{t\xi} + (C_0\xi - \overline{D_0}2r - z\xi) e^{-t\xi} \} \xi^3 J_1(\xi r) d\xi \quad (\text{剪斷應力})$$

$$\sigma_r = 2\mu \left[\int_0^{\infty} \{ (A_0\xi + B_01 + 2r + z\xi) e^{t\xi} - (C_0\xi - \overline{D_0}1 + 2r - 2\xi) e^{-t\xi} \} \xi^3 J_0(\xi r) d\xi - \frac{1}{r} \int_0^{\infty} \{ (A_0\xi + B_01 + z\xi) e^{t\xi} - (C_0\xi - \overline{D_0}1 - z\xi) e^{-t\xi} \} \xi^2 J_1(\xi r) d\xi \right] \dots (\text{水平應力}) \dots (1)$$

여기서

$J_n(\xi r)$: m 次의 第1種 Bessel 關數

ν : poisson's Ratio

μ : $E/2(1+\nu)$

또 그림 6과 같은 圓形等分布荷重이 作用했을 경우 이것을 하나의 關係로 나타낸다.

$$f(r) = \begin{cases} P_0 & r < a \\ 0 & r > a \end{cases}$$

Hangel 變換을 利用하면 다음 식이 된다.

$$f(r) = \int_0^{\infty} \left[\int_0^a f(\lambda) J_0(\xi\lambda) \lambda d\lambda \right] J_0(\xi r) \xi d\xi \\ = \int_0^{\infty} \left[\int_0^a P_0 \cdot J_0(\xi\lambda) \lambda d\lambda \right] J_0(\xi r) \xi d\xi \\ = \int_0^{\infty} \left[\frac{\lambda}{r} J_1(\xi\lambda) \right]_0^a - J_0(\xi r) d\xi \\ f(r) = P_0 a \int_0^{\infty} J_1(\xi a) J_0(\xi r) d\xi \dots (2)$$

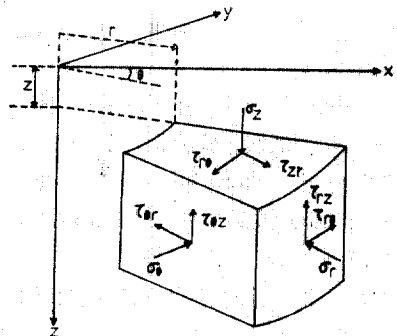


그림 5. Stress due to cylindrical co-ordinates

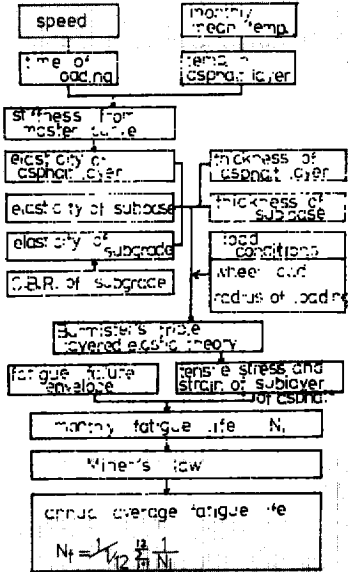


그림 7. Flow chart for predictions of fatigue life
 案한 다음 式을 利用해서 shift factor의 값을 推
 定하여 各混合物의 master curve를 그렸다.

$$\frac{S_{mix}}{S_{bit}} = \left(1 + \frac{2.5}{n} \cdot \frac{C_v}{1 - C_v}\right)^n$$

S_{mix} : 混合物의 stiffness(kg/cm²)

S_{bit} : nomograph에 의한 asphalt의 stiffness (kg/cm²)

C_v : 骨材의 體積率 ($C_v = \frac{\text{骨材의 體積率}}{\text{骨材} + \text{asphalt의 體積}}$)

$$n : 0.83 \log \frac{4 \times 10^5}{S_{bit}}$$

여기에서 周波數와 氣溫이 주어지면 載荷時間과 asphalt層의 溫度를 알 수 있으므로 이 ma-

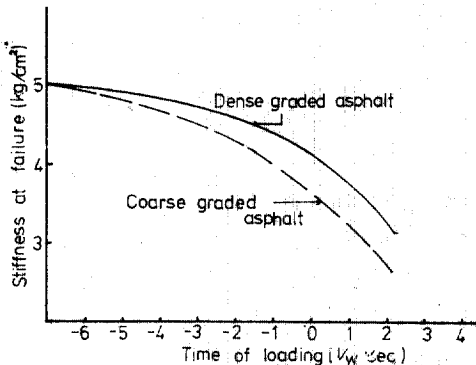


그림 5. Master curve for stiffness

ster curve로부터 asphalt層의 彈性係數⁽²²⁾를 決定할 수 있다.

(2) Miner의 法則⁽¹³⁾

實際의 鋪裝은 溫度變化를 받기 때문에 疲勞壽命은 의당 變動한다. 그래서 溫度變化를 고려한 疲勞壽命은 Miner의 法則을 適用해서 求했다.

(a) 어느 달의 疲勞壽命 N_i 를 flow chart에 따라 求하고 이달의 載荷回數가 n_i 일 때의 鋪裝이 받는 damage를 n_i/N_i 라 한다.

$$(b) D = \sum (n_i/N_i) = 1 \dots\dots\dots(6)$$

에 달했을 때 鋪裝은 疲勞破壞한다고 假定한다. 이때의 疲勞壽命 N_f 는

$$N_c = \sum N_i \dots\dots\dots(7)$$

(c) 條件 i 로 加해지는 載荷回數 n_i 의 全體에 해당되는 比率 p_i 는 $p_i = n_i/N_i$ 이 되므로 式(7)은 다음과 같이 된다.

$$N_f = \frac{1}{\sum \frac{p_i}{N_i}} \dots\dots\dots(8)$$

(d) 鋪裝에 供用開始後 破壞할 때까지 數年이 걸린다고 보고 月別平均氣溫이 나타내는 確率이 1/12이라고 假定하면 式(8)은 다음과 같이 된다.

$$N_f = \frac{1}{\sum_{i=1}^{12} \frac{1}{N_i}} \dots\dots\dots(9)$$

本研究에서는 月別 平均氣溫에 對應하는 鋪裝의 疲勞壽命 N_i 를 疲勞破壞包絡線으로부터 求하여 式(9)을 利用해서 實際의 鋪裝의 疲勞壽命 N_f ⁽²¹⁾를 豫測하게 된다.

(3) 疲勞壽命 算定法의 適用

本理論의 適用으로 實際鋪裝과 結付시켜 應用研究가 現在進行中에 있으며 室內實驗結果 얻어진 疲勞破壞包絡線과 Burmister의 3層 彈性으로부터 鋪裝의 壽命이 近似하게 얻어짐을 確認하였다. 實際 鋪裝道路의 形狀, 基本 data 및 氣象條件이 주어지면, 本理論에 의해 相當히 近似한 疲勞壽命이 豫測될 것으로 思料된다.

5. 結論

아스팔트混合物에 대한 室內疲勞試驗을 實施하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 室內疲勞試驗으로부터 求한 아스팔트混合物의 疲勞破壞包絡線은 試驗溫度나 載荷速度에 거의 의존하지 않았다.
2. 疲勞破壞包絡線은 아스팔트混合物의 形狀(密粒度아스콘, 粗粒度아스콘, sand filler 아스콘)에 따라 크게 변하였다.
3. 密粘度아스콘의 경우 疲勞破壞包絡線은 아스팔트의 針入도에 관계없이 하나의 曲線群으로 나타났다.

아울러 위에서 求한 疲勞破壞包絡線과 Burmister의 3層 彈性理論을 導入한 實際 아스팔트鋪裝의 疲勞壽命豫測法을 提示하였다.

參考文獻

1. Krivissky, A.M. "Design of Flexible Pavements for Major Highways" *Proc. 3rd Int. Conf. on the structural Design of Asphalt pavements*, pp. 445~467, 1972.
2. Huang, Y.H., "Strain and Curvature as Factors for Predicting Pavement Fatigue" *Proc. 3rd Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements*, pp. 622~628, 1972.
3. W. Heukelom and A.J. G. Klomp., "Road design and dynamic loading" *Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 33, pp. 72~125, 1964.
4. C. Van der Poel. "A General System Describing the Viscoelastic Properties of Bitumens and its Relation to Routine Test Data" *Journal of Applied Chem.* pp. 221~236, 1954.
5. Shell Design Charts for Flexible Pavement, *5th Reprint 1972*, Shell Int. Petroleum Co., Ltd.
6. J.A. Epps and C.L. Monismith: "Influence of Mixture Variable on the Flexural Fatigue Properties of Asphalt Concrete" *Proc. AAPT* Vol. 38, pp. 423~463, 1969.
7. P.S. Pell, J.M. Hanson., "Behavior of Bituminous Road Base Materials under Repeated Loading, *Proc. AAPT* Vol. 42, pp. 200~229, 1973.
8. W. Van Dijk., "Practical Fatigue Characterization of Bituminous Mixes" *Proc. AAPT* Vol. 44, pp. 38~74, 1975.
9. Burmister, D.M.: "The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Soil Systems," *Jour. of Applied Physics*, Vol. 16, pp. 89~96, 126~127, 296~302, 1945.
10. A.I.M. Classen, J.M. Edwards, P. Sommer and P. Vge., "Asphalt Pavement Design", *The Shell Method 4th Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavement* Vol. 1, pp. 39~74, 1977.
11. G.W. Maupin, Jr.: "Result of Indirect Tensile Tests Related to Asphalt Fatigue" *HRR*, Vol. 404, 1972.
12. Yoder, E.J. and Witczak, M.W., *Principles of Pavement Design*, 2nd Ed. John Wiley & Sons, pp. 529, 1975.
13. Miner, M.A., "Cumulative Damage in Fatigue", *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 12, part a, pp. 159~164, 1975.
14. Yüche, R. and C.L. Monismith: Prediction of Load Associated Cracking in Pavement Slabs from Laboratory Determined Fatigue Data, *Proc. AAPT* 43, pp. 332~349, 1974.
15. Pell, P.S., Fatigue Characteristics of Bitumen and Bituminous Mixes, *International Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements*, pp. 310~323, 1962.
16. Raithby, K.D. and Sterling, A.D., "Some Effects of Loading History on the Fatigue Performance of Rolled Asphalt", *TRRL, Dept. of the Environment*, TRRL, Report LR 496, 1972.
17. 日本道路協會, ア스팔트 鋪裝要綱, 1978.
18. 吉原一彦, 渡邊 隆·渡邊暉彦; ア스팔트混合物의 疲勞破壞特性について, 土木學會第32回年次學術講演會講演集, V-190, 1977.
19. 森吉昭博·菅原照雄; ア스팔트混合物의 流動을 伴う領域의 曲げ破壞包絡線에 關する研究, 土木學會論文報告集, Vol. 251, pp. 107~112, 1976.
20. 渡邊 隆·渡邊暉彦·元田良孝; ア스팔트混合物의 一軸壓縮疲勞特性, 土木學會論文報告集, Vol. 243, pp. 91~98, 1975.
21. 高速道路調査會; ア스팔트 鋪裝追跡調査解析結果報告書, 1976.
22. 阿部頼政; ア스팔트 鋪裝構造의 合理的設計法에 關する研究, 土木學會論文報告集, Vol. 247, pp. 109~122, 1976.
23. 全夢角; 서울釜山間高速道路鋪裝體의 構造設計, 大韓土木學會誌, 第17卷第1號 1969.
24. 金周元·崔奕弼; 아스팔트混合物에 있어서 輻射의 影響에 關한 研究, 大韓土木學會20週年記念論文集, 1972.
25. 竹下春見; ア스팔트 鋪裝에 關する對數グラフ의 應用, 道路 pp. 726~731, 1965.

(授受: 1983. 1. 31)